

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
en association avec
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉTUDE DE PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT RELATIVES À LA
MODÉLISATION EN SCIENCES ET TECHNOLOGIES AVEC DES
ENSEIGNANTS DU SECONDAIRE

THÈSE
PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN ÉDUCATION

Par
Emmanuelle AUROUSSEAU

Août 2017

Les hommes construisent trop de murs et pas assez de ponts.

Sir Isaac Newton

REMERCIEMENTS

À l'issue de cette démarche, je tiens à remercier ma directrice de thèse, madame Christine Couture, professeure et chercheuse en didactique des sciences et de la technologie au Département des sciences de l'éducation de l'Université du Québec à Chicoutimi, membre du CRIFPE, pour le soutien sans faille et les conseils précieux qui m'ont permis de mener à bien ce travail de longue haleine. Merci de m'avoir écoutée, éclairée et fait confiance.

Je remercie aussi mon codirecteur de thèse, monsieur Ghislain Samson, professeur et chercheur en didactique des sciences et de la technologie au Département des sciences de l'éducation à l'Université du Québec à Trois-Rivières, membre du CRIFPE, pour ses encouragements et sa bonne humeur qui ont su me redonner l'envie et l'énergie dans les moments d'égarement et de découragement qui peuvent venir émailler le processus ardu que représente un travail doctoral.

Je tiens aussi à remercier madame Pauline Minier, qui m'a accompagnée lors de mon arrivée au Québec et au début de cette démarche. Merci pour sa chaleur, sa gentillesse et son écoute. « Petit train va loin », me disait-elle. Même lorsque je piétinais, je me rappelais cette phrase, et malgré tout, j'avancais un peu.

Évidemment, je présente mes remerciements aux enseignants ayant accepté de participer à ce projet. Malgré leur charge de travail, ils ont su se montrer disponibles pour participer aux rencontres auxquelles je les conviais.

Je ne saurais remercier suffisamment mes deux filles, Marie et Élisabeth, ainsi que mon conjoint, Simon, pour leur patience lors des longues et nombreuses journées de travail

où je n'étais absolument pas disponible. Nous avons ensemble traversé de nombreuses épreuves. Merci pour l'énergie que vous m'avez apportée.

Merci à ma sœur, Véronique, qui m'a encouragée à faire le grand saut, qui m'a autorisée à croire à ce projet un peu fou. Merci!

Une petite pensée pour maman, trop tôt disparue, mais dont l'absence a malgré tout guidé mes pas.

Merci à monsieur Jean Lascours, professeur retraité de l'ENFA de Toulouse, sans qui je n'aurais peut-être pas embrassé la didactique.

Mes remerciements s'adressent aussi à madame Martine Méheut, professeure retraitée de l'Université Paris Diderot – Paris 7 et qui m'a soutenue et encouragée lorsque j'effectuais ma maîtrise à Paris dans des conditions pour le moins difficiles.

Certains trouveront cela étrange, mais j'ai aussi une pensée pour mon chien Bolide qui m'a accompagnée de longues heures, couché à mes pieds lorsque devant mon ordinateur je persévérais (ou je m'acharnais) à terminer ce travail. Merci pour ces longues promenades que nous prenions ensemble, qui m'ont permis d'évacuer les tensions tant physiques qu'intellectuelles et de venir à bout de ce long processus.

Enfin, je présente mes remerciements au comité de perfectionnement des chargées et chargés de cours de l'Université du Québec à Chicoutimi pour le soutien financier apporté lors du trimestre d'automne 2015, ce qui, en me libérant de mes tâches d'enseignement, m'a permis de me consacrer entièrement à ma thèse, en fin de processus.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	ix
LISTE DES ACRONYMES	xv
RÉSUMÉ	xvii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1	
PROBLÉMATIQUE - ARTICULATION DU CONCRET ET DE L'ABSTRAIT DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES ET DES TECHNOLOGIES	7
1.1 État de la situation de l'enseignement des sciences et des technologies : l'intérêt pour les disciplines à caractère scientifique et technologique	7
1.2 Sciences et technologies dans le programme de formation de l'école québécoise	12
1.3 Articulation difficile du concret et de l'abstrait	16
1.4 Possibilités offertes par la modélisation dans l'enseignement de S&T	19
1.5 Difficultés relatives à la mise en place d'un enseignement de S&T basé sur des démarches de modélisation.....	22
1.6 Question et objectifs de recherche	32
1.7 Pertinence sociale et scientifique de la recherche	33
CHAPITRE 2	
CADRE CONCEPTUEL - FONDEMENTS THÉORIQUES SOUS- JACENTS AUX PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT POUR ARTICULER LE CONCRET ET L'ABSTRAIT EN SCIENCES ET TECHNOLOGIES	35
2.1 Visées éducatives de l'enseignement de sciences et technologies.....	36
2.2 Concret et abstrait	40

2.3	Modèle et démarche de modélisation.....	41
2.3.1	Modèle.....	42
2.3.2	Distinction entre concept, modèle, loi et théorie.....	47
2.3.3	Démarche de modélisation.....	51
2.4	Modèles et démarches dans le PFEQ.....	54
2.5	Point de vue épistémologique sur le modèle et la démarche de modélisation en enseignement des S&T	56
2.6	Des pratiques enseignantes aux pratiques d'enseignement.....	58
2.7	Situation d'apprentissage	61
2.8	Stratégies d'enseignement.....	63
2.9	Ajustement de pratique	66
2.10	Concepts de didactique	67
2.10.1	Théorie des situations didactiques.....	67
2.10.2	Théorie de l'action conjointe en didactique	70
CHAPITRE 3		
MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE		73
3.1	Orientations des recherches recensées sur les modèles et la démarche de modélisation en S&T	73
3.2.	Option méthodologique.....	77
3.3	Positionnement épistémologique de la chercheuse	79
3.4	Recherche collaborative.....	80
3.4.1	Étape de cosituation	83
3.4.2	Étape de coopération	85
3.4.3	Étape de coproduction.....	85
3.5	Opérationnalisation de la collecte de données	89
3.5.1	Description des outils de collecte de données.....	91
3.5.2	Organisation des groupes focalisés et des observations en classe	96
3.6	Organisation des données.....	102
3.7.	Analyse des données	104
3.7.1	Analyse des données issues des groupes focalisés.....	105

3.7.2	Analyse des données issues des observations en classe	107
3.8	Devis méthodologique de la recherche	122
3.9	Critères d'ordre scientifique et d'ordre éthique de la recherche	124
3.9.1	Critères de rigueur méthodologique	124
3.9.2	Considérations éthiques et déontologiques	125
CHAPITRE 4		
PRÉSENTATION DES DONNÉES.....		127
4.1	Stratégies d'enseignement pour concilier le concret et l'abstrait.....	129
4.1.1	Recours au graphisme	129
4.1.2	Recours à la comparaison.....	134
4.1.3	Recours à la technologie et aux maquettes.....	137
4.1.4	Recours aux montages expérimentaux	145
4.1.5	Recours aux équations-bilans de transformations chimiques	147
4.2	Présentation des situations d'enseignement mises en œuvre par les enseignants utilisant les modèles et la démarche de modélisation.....	149
4.2.1	Construction d'un simulateur du péristaltisme.....	149
4.2.2	Laboratoire sur la formation des pluies acides.....	154
4.2.3	Laboratoire sur les coacervats	157
4.3	Ajustements de pratique pour faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait utilisant un enseignement basé sur les modèles et la démarche de modélisation.....	164
4.3.1	Ajustements de pratique évoqués par les enseignants.....	165
4.3.2	Ajustement de pratique planifié : exemple de l'électrocinétique	168
CHAPITRE 5		
ANALYSE DES DONNÉES ET PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.....		175
5.1	Analyse des pratiques d'enseignement centrées sur les modèles et les démarches de modélisation.....	176
5.1.1	Analyse des stratégies utilisées pour concilier le concret et l'abstrait et évoquées par les enseignants lors des groupes focalisés	177
5.1.2	Analyse des observations en classe	189

5.2	Analyse des ajustements de pratique faisant appel à des approches utilisant les modèles et la démarche de modélisation afin de faciliter l’articulation du concret et de l’abstrait	231
5.2.1	Ajustements dans le discours des enseignants	232
5.2.2	Analyse d’un ajustement de pratique planifié : exemple de l’électrocinétique	240
5.3	Principaux résultats	252
CONCLUSION ET PERSPECTIVES LA DÉMARCHE DE MODÉLISATION, ESSENTIELLE DANS L’ENSEIGNEMENT DE S&T		259
BIBLIOGRAPHIE		269
LISTES DES ANNEXES		309
LISTE DES APPENDICES		361

LISTE DES FIGURES

Figure

2.1	Rapport entre le concret et l'abstrait, inspiré de Martinand (2010)	43
2.2	Définition du modèle.....	47
2.3	Relations entre champ théorique et champ empirique, entre modèle et théorie, inspiré de Robardet & Guillaud 1997	50
2.4	Pratiques d'enseignement et situation d'apprentissage	62
2.5	Pratiques d'enseignement, situation d'apprentissage et stratégies	64
2.6	Concept de stratégie	65
2.7	Milieu et catégories génétiques	69
2.8	Logique de la démarche de recherche	78
3.1	Logique de double production de la recherche collaborative.....	85
3.2	Triangles du savoir d'après Sebillotte (2007)	88
3.3	Organigramme de la recherche.....	89
3.4	Modèle de la modélisation selon Dorier et Burgermeister (2013)	120
3.5	Niveaux de complexité de la modélisation.....	121
3.6	Dispositifs de collecte de données.....	122
4.1	Schéma représentant l'effet de serre – Obs. n° 2 - 2014-01-31	130
4.2	Schéma représentant l'effet de serre – Obs. n° 2 - 2014-01-31	131
4.3	Schéma représentant le cycle de l'azote – Obs. n° 2 - 2014-01-31	133
4.4	Place de la séance sur le simulateur de péristaltisme dans la progression des apprentissages (MELS, 2011)	150
4.5	Place de la séance sur les pluies acides dans la progression des apprentissages (MELS, 2011)	155

4.6	Progression envisagée dans le cours Sciences générales – Laboratoire sur les coacervats.....	158
4.7	Place de la séance d'électrocinétique dans la progression des apprentissages (MELS, 2011)	169
5.1	Construction du corpus de données.....	175
5.2	Définition du modèle appuyant le cadre d'analyse	177
5.3	Modèles de l'atome abordés dans le PFEQ.....	182
5.4	Mention du modèle particulaire dans le PFEQ	186
5.5	Modèle de la modélisation – Obs. du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme.....	200
5.6	Équations chimiques abordées dans le PFEQ	202
5.7	Modèle de la modélisation – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides.....	215
5.8	Modèle de la modélisation – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats.....	229
5.9	Prises de conscience des enseignants lors des groupes focalisés	239
5.10	Modèle de la modélisation – Obs. du 2014-03-14 – Electrocinétique	251
5.11	Retombées des ajustements envisagés	254
5.12	Propositions didactiques.....	257

LISTE DES TABLEAUX

Tableau

1.1	Visées éducatives de l'enseignement de sciences et de technologies	39
3.1-a	Organisation des rencontres de groupe et des observations en classe.....	97
3.1-b	Organisation des rencontres de groupe et des observations en classe (suite).....	98
3.2	Structuration en actes – scènes - tableaux d'après (Sensevy, 2011a).....	110
3.3	Observables utilisés pour la construction du canevas de l'action	111
3.4	Étapes de construction du synopsis de l'action	112
3.5	Analyse sous l'angle de la genèse	118
3.6	Questions-guides pour analyser les observations en classe.....	119
4.1	Opérationnalisation de la collecte de données	128
4.2	Renvoi en annexe des synopsis des séances observées.....	149
4.3	Ajustements de pratique évoqués par les enseignants.....	167
5.1	Stratégies évoquées lors des groupes de discussion pour concilier le concret et l'abstrait	179
5.2	Activités à propos des modèles et la démarche de modélisation – Observations du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme	190
5.3	Répertoire des pratiques de l'enseignant E5 – Observations du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme	191
5.4	Mésogenèse – Obs. du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme	192
5.5	Chronogenèse – Obs. du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme	193
5.6	Topogenèse – Obs. du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme.....	194
5.7-a	Condition de dévolution – Obs. du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme	196

5.7-b	Condition de définition – Obs. du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme.....	196
5.7-c	Condition de régulation – Obs. du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme	196
5.7-d	Condition d’institutionnalisation – Obs. du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme	197
5.8	Récapitulatif des analyses – Obs. du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme.....	201
5.9	Activités à propos des modèles et de la démarche de modélisation – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides.....	202
5.10	Répertoire des pratiques de l’enseignant E3 – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides	204
5.11	Mésogenèse – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides	205
5.12	Chronogenèse – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides	206
5.13	Topogenèse – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides.....	207
5.14-a	Condition de dévolution – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides	208
5.14-b	Condition de définition – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides.....	209
5.14-c	Condition de régulation – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides	209
5.14-d	Condition d’institutionnalisation – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides	209
5.15	Récapitulatif des analyses – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides.....	216
5.16	Activités à propos des modèles et la démarche de modélisation – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats.....	217
5.17	Répertoire des pratiques – Enseignant E2- Obs. du 2014-01-31 – Coacervats	218
5.18	Mésogenèse – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats	219
5.19	Chronogenèse – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats	220
5.20	Topogenèse – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats.....	221
5.21-a	Condition de dévolution – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats	225
5.21-b	Condition de définition – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats.....	225

5.21-c	Condition de régulation – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats	225
5.21-d	Condition d’institutionnalisation – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats	226
5.22	Récapitulatif des analyses – Obs.2014-01-31 – Coacervats.....	230
5.23	Visées éducatives de l’enseignement de sciences et de technologies	231
5.24	Activités à propos des modèles et la démarche de modélisation lors de la séance d’observation du 2014-03-14 sur l’électrocinétique en quatrième secondaire	241
5.25	Répertoire des pratiques d’enseignement – Enseignant E4.....	242
5.26	Mésogenèse – Obs. du 2014-03-14 – Electrocinétique	244
5.27	Chronogenèse – Obs. du 2014-03-14 – Electrocinétique	245
5.28	Topogenèse – Obs. du 2014-03-14 – Electrocinétique	247
5.29-a	Condition de dévolution – Obs. du 2014-03-14 – Electrocinétique	248
5.29-b	Condition de définition – Obs. du 2014-03-14 – Electrocinétique	248
5.29-c	Condition de régulation – Obs. du 2014-03-14 – Electrocinétique.....	249
5.29-d	Condition d’institutionnalisation – Obs. du 2014-03-14 – Electrocinétique	249
5.30	Récapitulatif des analyses - Obs. du 2014-03-14 – Electrocinétique	252
5.31	Possibles didactiques construits à partir des prises de conscience des enseignants envisagés lors des groupes focalisés.....	256

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo		
4.1-a	Montage du laboratoire sur les pluies acides – Obs. n° 2 – 2014-01-31	146
4.1-b	Montage du laboratoire sur les pluies acides – Obs. n° 2 – 2014-01-31	146
4.2	Équations-bilans des transformations chimiques représentant les pluies acides – Obs. n° 2 – 2014-01-31	147
4.3	Consignes de l’enseignant pour réaliser la maquette sur le péristaltisme – Obs. n° 1a – 2014-01-17.....	151
4.4	Modèle de péristaltisme réalisé par l’enseignant – Obs. n° 1a – 2014-01-17	152
4.5	Tâche 5 de la SAÉ « Analyse des simulateurs de péristaltisme » – document d’élève – Obs. n° 1b – 2014-01-20.....	153
4.6	Montage effectué lors du laboratoire sur les pluies acides – Obs n° 2 – 2014-01-31	156
4.7	Changement de couleur observé lors de l’acidification de l’eau – Obs n° 2 – 2014-01-31	157
4.8	Expérience d’Oparin (Gilles & Bergeron, 2003, p. 97) – Obs. n° 3 – 2014-01-31	160
4.9	Lame réalisée par un élève – Observation de coacervats – Obs. n° 3 – 2014-01-31	163
4.10	Dessin d’élève – Observation au microscope – Obs. n° 3 – 2014-01-31	163
4.11	Illustration d’un nœud de courants par l’enseignante E4 – Obs. n° 4 – 2014-01-31	171

LISTE DES ACRONYMES

S&T	Sciences et technologies
AAAS	American Association for the Advancement of Science
APSQ	Association des professeurs de sciences du Québec
CRIJEST	Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie
LIREST	Liaisons Interuniversitaires pour la Recherche en Éducation Scientifique et Technologique
INRP	Institut de recherche pédagogique
GIREP	Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique
MELS	Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport
MEQ	Ministère de l'Éducation du Québec
MUSE	Modeling for Understanding in Science Education
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
PFEQ	Programme de formation de l'école québécoise
SAÉ	Situation d'apprentissage et d'évaluation
TACD	Théorie de l'action conjointe en didactique

RÉSUMÉ

Les modèles sont des outils amplement utilisés en sciences et technologies (S&T) afin de représenter et d'expliquer un phénomène difficilement accessible, voire abstrait. La démarche de modélisation est présentée de manière explicite dans le programme de formation de l'école québécoise (PFEQ), notamment au 2^{ème} cycle du secondaire (Québec. Ministère de l'Éducation du Loisir et du Sport, 2007a). Elle fait ainsi partie des sept démarches auxquelles élèves et enseignants sont censés recourir.

Cependant, de nombreuses recherches mettent en avant la difficulté des enseignants à structurer leurs pratiques d'enseignement autour des modèles et de la démarche de modélisation qui sont pourtant reconnus comme indispensables. En effet, les modèles favorisent la conciliation des champs concret et abstrait entre lesquels le scientifique, même en herbe, effectue des allers-retours afin de concilier le champ expérimental de référence qu'il manipule et observe au champ théorique relié qu'il construit.

L'objectif de cette recherche est donc de comprendre comment les modèles et la démarche de modélisation contribuent à faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement des sciences et des technologies (S&T) au 2^{ème} cycle du secondaire. Pour répondre à cette question, nous avons travaillé avec les enseignants dans une perspective collaborative lors de groupes focalisés et d'observation en classe. Ces dispositifs ont permis d'examiner les pratiques d'enseignement que quatre enseignants mettent en œuvre en utilisant des modèles et des démarches de modélisation.

L'analyse des pratiques d'enseignement et des ajustements que les enseignants envisagent dans leur pratique nous permet de dégager des connaissances à la fois pour la recherche et pour la pratique des enseignants, au regard de l'utilisation des modèles et de la démarche de modélisation en S&T au secondaire.

MOTS-CLÉS : modèle, modélisation, concret, abstrait, pratiques d'enseignement, ajustement de pratique, recherche collaborative.

INTRODUCTION

Cette recherche est née d'un intérêt personnel envers les pratiques d'enseignement au secondaire en sciences et technologies (S&T). Ayant enseigné les S&T au secondaire en France pendant plus de 15 ans, j'ai commencé à me questionner sur ma pratique et sur les pratiques d'enseignement de cette discipline devant le taux d'échec que je jugeais anormal au niveau de l'équivalent de la troisième secondaire au Québec. À l'issue de cette classe, les élèves devaient choisir une orientation et très peu envisageaient de poursuivre dans des filières scientifiques¹. Certains élèves se catégorisaient comme « nuls en sciences », déclarant qu'ils n'étaient « pas faits pour ça ». Je n'acceptais pas leur défaite. Je constatais qu'année après année, ce sont les mêmes écueils qui faisaient échouer les élèves. J'ai voulu comprendre pourquoi. Quels étaient ces obstacles qui, bien souvent, rejoignaient ceux-là mêmes auxquels je m'étais, élève, moi-même heurtée? Comment pouvait-on les franchir? Comment pouvais-je orienter ma pratique afin de venir en aide à tous les élèves, afin de ne pas abandonner ces « nuls en sciences »?

Quelques stages en formation continue m'ont alors permis de découvrir la didactique et des auteurs comme Johsua, Dupin, Viennot ou Martinand. Cet intérêt m'a conduite à poursuivre une maîtrise en didactique des sciences à l'Université de Paris Diderot - Paris VII, puis à traverser l'océan afin de poursuivre mon aventure par des études doctorales au Québec.

Depuis déjà de nombreuses années, beaucoup de recherches s'intéressent à l'analyse des pratiques d'enseignement (Maubant, 2007). En S&T, tout particulièrement, les réformes éducatives engagées dans de nombreux pays occidentaux ont amorcé une

¹ Fait référence ici et par la suite aux sciences, en excluant les mathématiques.

réflexion sur les pratiques déployées dans l'enseignement de cette discipline. Plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'analyse des pratiques d'enseignement en S&T. Il est en effet reconnu que la qualité de l'enseignement a une grande influence sur les résultats obtenus par les élèves en sciences et sur la qualité de l'apprentissage (Dionne & Couture, 2010). De plus, le désintérêt reconnu pour les jeunes envers les études scientifiques, notamment entre le primaire et le secondaire (Christidou, 2011; Hasni, Potvin, Belletête & Thibault, 2015), conduit à nous intéresser plus spécifiquement aux pratiques déployées en S&T au secondaire. L'une des raisons pour expliquer ce désengagement serait le niveau d'abstraction élevé des disciplines à caractère scientifique (Martinand, 2010b). En effet, parmi les difficultés majeures rencontrées dans l'enseignement de S&T, il y a celle de l'articulation des champs concret et abstrait. Selon Martinand (2010), la question de cette articulation passe par la prise en compte du rôle des modèles scientifiques dans l'enseignement et l'apprentissage de la discipline.

Cette recherche s'intéresse aux pratiques d'enseignement qui ont cours relativement à l'usage des modèles et de la démarche de modélisation en S&T au secondaire. Le travail réalisé a été rendu possible grâce à la participation de quatre enseignants. L'objectif général est de travailler avec eux afin d'explorer les pratiques qu'ils mettent en œuvre et qui utilisent des modèles et des démarches de modélisation. La question est de comprendre comment les modèles et la démarche de modélisation peuvent contribuer à l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement des sciences et des technologies au secondaire.

Le premier chapitre présente la problématique à travers laquelle nous dressons l'état de la situation de l'enseignement de S&T au secondaire, en nous penchant sur l'intérêt des jeunes pour les disciplines scientifiques. Ensuite, nous abordons le renouveau pédagogique afin d'envisager la place des sciences et des technologies dans le programme de formation de l'école québécoise (PFEQ) du MELS (2007). La

démarche de modélisation y est mentionnée comme l'une des sept démarches à faire apprendre aux élèves (Doucet, Langelier & Samson, 2007). Elle permet notamment d'examiner la question délicate du rapport entre concret et abstrait (Martinand, 2010). La problématique s'élabore ainsi autour d'un questionnement portant sur les modèles, la démarche de modélisation et les pratiques d'enseignement. Le premier chapitre se clôt sur la présentation des questions et objectifs de recherche.

Le deuxième chapitre permet de construire notre cadre théorique en présentant les différents concepts qui viennent étayer cette recherche. Dans un premier temps, nous détaillons les visées éducatives de l'enseignement de S&T. Puis, nous définissons les champs concret et abstrait entre lesquels la démarche de modélisation peut servir de médiateur (Martinand, 2010), ce qui nous amène à délimiter la définition du modèle et celle de la démarche de modélisation, plus particulièrement, les modèles tels qu'ils sont utilisés dans le PFEQ. Un point de vue épistémologique sur les modèles et la démarche de modélisation permet de faire le lien avec les pratiques d'enseignement que nous abordons dans la section qui suit. Nous y spécifions, par ailleurs, les concepts de stratégies et de situations d'enseignement qui sont utilisés lors de l'analyse des données recueillies. Nous examinons ensuite le concept d'ajustement de pratique dans la perspective d'analyser de tels ajustements réalisés ou envisagés de la part des enseignants dans leur pratique. Finalement, certains concepts didactiques sont définis, notamment la théorie de l'action conjointe en didactique puisqu'elle structure la méthodologie de collecte et d'analyse des données.

Le troisième chapitre est consacré au cadre méthodologique. Après une synthèse des recherches recensées sur les modèles et la démarche de modélisation en enseignement de S&T, nous envisageons les fondements de la recherche collaborative qui sous-tend notre processus de recherche. L'opérationnalisation de la collecte de données permet de présenter au lecteur la manière dont cette recherche est menée et comment les données sont recueillies. Les outils de collecte de données sont par la suite décrits et

le devis méthodologique de la recherche permet d'avoir une vue synthétique du travail effectué. Enfin, la méthodologie d'analyse des données est décrite de façon à présenter les différents angles d'analyse envisagés qui permettent une analyse fine et rigoureuse.

Le quatrième chapitre présente les données recueillies par l'intermédiaire des différents dispositifs mis en place et en accord avec la méthodologie de notre recherche : 1) les groupes focalisés et 2) les observations participantes. Ainsi, nous exposons la manière dont le corpus de données, objet de l'analyse, est construit. Puis, nous décrivons dans un premier mouvement les stratégies d'enseignement que nous avons identifiées dans le discours des enseignants ou bien lors des observations participantes, pour concilier le concret et l'abstrait. Un deuxième mouvement permet de présenter les situations d'enseignement mises en œuvre par les enseignants au cours desquelles nous avons pu identifier des pratiques d'enseignement touchant les modèles et la démarche de modélisation. Enfin, un troisième mouvement permet d'aborder les ajustements de pratique évoqués ou planifiés par les enseignants pour faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait en enseignement de S&T.

Le cinquième chapitre traite de ce que nous avons mis en place pour analyser les données. En nous basant sur le corpus précédemment construit, nous analysons, dans un premier temps, selon une logique inductive modérée qui s'inspire de l'analyse de contenu de Bardin (2007), les verbatims des groupes focalisés. Ceci permet d'explorer les stratégies des enseignants pour concilier le concret et l'abstrait, afin de discuter de leur statut et de leur pertinence en ce qui concerne les modèles. Par la suite, nous présentons le résultat des analyses des observations en classe, pour lesquelles nous avons recours à différents outils qui permettent d'exposer la structure des actions didactiques envisagées qui sont analysées selon deux voies de questionnement du corpus. Une première analyse concerne la structure de l'action didactique permet et fait ressortir les régulations de cette action au regard des

activités se rapportant aux modèles et démarches de modélisation. Une deuxième analyse sous l'angle de la genèse² de la situation qui se développe en classe permet d'aborder trois niveaux de questionnement : 1) mésogenétique, 2) chronogenétique et 3) topogenétique. Ces deux analyses permettent de construire des tableaux synoptiques qui offrent une structure synthétique et cohérente autorisant une analyse fine des données d'observation.

La conclusion permet d'aborder l'interprétation des résultats obtenus ainsi qu'une discussion autour de ces résultats et des perspectives qui se dégagent en ce qui concerne les retombées et pour la recherche et pour la pratique. Les limites de l'étude ainsi menée sont aussi discutées dans une perspective métaréflexive sur le travail construit.

² La genèse renvoie à l'origine, à l'élaboration ou au développement.

CHAPITRE 1

PROBLÉMATIQUE

ARTICULATION DU CONCRET ET DE L'ABSTRAIT DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES ET DES TECHNOLOGIES

Dans ce chapitre, qui expose notre problématique, nous dressons tout d'abord un portrait de l'état de la situation de l'enseignement de S&T. Nous nous penchons aussi sur l'intérêt des jeunes envers ces disciplines à l'école secondaire en avançant quelques difficultés reconnues dans cet enseignement souvent jugé complexe (Koutani, 2004). Le renouveau pédagogique est ensuite abordé ainsi que la place de l'enseignement de S&T dans cette réforme débutée en 2005 dans les écoles secondaires québécoises. Par la suite, nous envisageons l'une des difficultés majeures de cet enseignement qui concerne l'articulation fondamentale en S&T entre concret et abstrait. Dans cette optique, nous examinons les possibilités offertes par un enseignement de S&T centré sur les modèles et la démarche de modélisation, puis les problèmes soulevés par la mise en place d'un tel enseignement. Cette problématique débouche sur la présentation de notre question et nos objectifs de recherche.

1.1 État de la situation de l'enseignement des sciences et des technologies : l'intérêt pour les disciplines à caractère scientifique et technologique

L'enseignement des S&T a toujours été un enjeu dans la plupart des pays développés (Gendreau-Massaloux & Léna, 2000; Larochelle & Désautels, 1992). En effet, les avancées technologiques majeures du 20^e siècle ont propulsé la formation scientifique au rang des préoccupations prioritaires en matière de politiques éducatives (Robine,

2009). En contexte québécois, la volonté de promouvoir l'enseignement scientifique et technologique et d'asseoir la place des S&T dans le système éducatif a été largement alléguée, notamment à la suite de la fondation, en 1965, de l'Association des professeurs de sciences du Québec (APSQ)³. De même, le groupe de travail sur l'enseignement des sciences a réaffirmé sa volonté de donner aux sciences une place essentielle (Inchauspé, 2005). Dans cette lignée, la chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie⁴ (CRIJEST) a vu le jour, au Québec, en 2012. Les principaux objectifs du CRIJEST sont de mieux « comprendre les facteurs qui déterminent l'intérêt des jeunes pour les sciences et la technologie » (Hasni et coll., 2015, p. 1) afin de développer et mettre en œuvre « des stratégies d'intervention susceptibles d'éveiller davantage cet intérêt » (*Ibid.*). L'enseignement des sciences est au cœur des politiques éducatives de la plupart des pays occidentaux. Cependant, à la lumière de certaines lectures, nous pouvons constater que les enjeux de l'enseignement de S&T se sont déplacés (É-U. American Association for the Advancement of Science, 2013). En effet, la volonté n'est plus de former prioritairement des élites. Il s'agit plutôt de permettre à tous les élèves de construire une culture scientifique et technologique de base et de délivrer un enseignement ayant du sens pour tous (Barma, 2007; Giordan & Pellaud, 1999; Hasni et coll., 2015; Mathy, 1997; Pellaud, 1999; Porchet, 2002). D'ailleurs, la formation de ressources formées en sciences reste indispensable au progrès social, caractérisé par le développement industriel et économique (Hasni et coll., 2015).

Depuis quelques années, la situation quant à la relève scientifique est manifestement préoccupante dans la majorité des pays occidentaux comme les États-Unis, la Grande-Bretagne, la France, les Pays-Bas ou le Canada (Organisation de Coopération

³ L'APSQ s'appelle dorénavant « l'Association pour l'avancement de l'enseignement de la science et de la technologie ». Des techniciens en travaux pratiques et des conseillers pédagogiques y sont maintenant intégrés.

⁴ <www.crijest.org>.

et de Développement économiques, 2010). Si les sciences et les technologies ont subi de profondes mutations au cours du siècle dernier, leur enseignement n'a pas suivi une évolution similaire (Gendreau-Massaloux & Léna, 2000). On constate ainsi « une désertification des formations scientifiques » (Koutani, 2004, p. 1). Selon Chevigny (2009) : « Les évolutions et interrogations autour de cette discipline lors des vingt dernières années révèlent un état qui ressemble bien à un état de crise » (p. 1). Déjà, en 1999, Giordan et Pellaud remarquaient que l'enseignement scientifique et technique n'était plus adapté à la société pour laquelle il devait préparer les citoyens. Les auteurs (*Ibid.*) critiquaient les détails inutiles encombrant l'esprit des élèves, ainsi privés de notions importantes leur permettant de comprendre le monde qui les entoure en leur fournissant des éléments nécessaires pour relever les défis de notre époque. Ainsi, les jeunes ressentent de plus en plus de difficultés relativement à l'apprentissage des disciplines scientifiques (Koutani, 2004), et l'enseignement de S&T « n'introduit pas aux modes de pensée pour affronter le monde de demain » (Giordan et Pellaud, 1999, p. 1). Un rapport de la Commission européenne (Rocard et coll., 2007) confirme ce constat :

Ces dernières années, de nombreuses études ont mis en évidence un déclin inquiétant de l'intérêt des jeunes pour les études scientifiques et mathématiques. Malgré les nombreux projets et programmes d'action mis en œuvre pour inverser cette tendance, les signes d'amélioration demeurent modestes. (p. 2)

Malgré l'omniprésence des sciences et des technologies dans nos sociétés modernes, beaucoup d'élèves se désintéressent et abandonnent ces disciplines au secondaire (Christidou, 2011), trouvant cet apprentissage difficile, du fait de son niveau d'abstraction élevé (Martinand, 2010). Dans le rapport du CRIJEST, Hasni et coll. (2015) affirment que « les ST sont aussi perçues de plus en plus difficiles à mesure que les élèves avancent dans la scolarité » (p. 96). Selon Christidou (2011), c'est en passant du primaire au secondaire que les élèves perdent rapidement leur engouement envers les sciences. Hasni et coll. (2015) constatent eux aussi une perte d'intérêt

envers les S&T lors de la transition primaire-secondaire, essentiellement entre la dernière année du primaire (P6) et la deuxième année du secondaire (S2). Pour leur part, les enseignants constatent un désintérêt généralisé des élèves pour les sciences tout au long de leur scolarité (Chevigny, 2009; Krapp & Prenzel, 2011).

Il semble donc qu'en majorité, les élèves aient une image des sciences déformée et peu stimulante (J.-A. Roy, 1995; The Gallup Organization, 2008) et que trop peu s'orientent vers des carrières scientifiques (Becker, 2010; Ramsay, Logan & Skamp, 2005; Tytler, 2007). Paradoxalement, la majorité des élèves ont une vision favorable des études ou des métiers à caractère scientifique et technologique (Hasni et coll., 2015). Par contre, la plupart considèrent comme difficiles les études conduisant à de tels métiers. Celles-ci nécessiteraient des aptitudes particulières et ne seraient pas à la portée de tous (*Ibid.*). Ainsi, la plupart des élèves jugent les sciences confuses et inaccessibles (Porchet, 2002). D'ailleurs, les disciplines les plus touchées par la désaffection des élèves sont celles dont le contenu théorique est important, comme la physique et la chimie (OCDE, 2006) qui sont toujours moins bien perçues que les autres sciences (Porchet, 2002).

Le désintérêt et la désaffection des jeunes pour les filières scientifiques sont donc largement acceptés (Potvin & Hasni, 2014). Cependant, les statistiques existantes ne permettent pas de mesurer et d'analyser parfaitement le degré d'intérêt ou de désintérêt des étudiants (OCDE, 2006, 2013), et les origines de ce profond malaise ne sont pas toujours rigoureusement explorées (Hasni et coll., 2015). Les raisons évoquées pour expliquer cette situation sont diverses. Selon certaines études, il semble que le peu d'enthousiasme envers les disciplines scientifiques s'explique par le manque d'attrait des cours de sciences et par la façon dont les sciences sont enseignées (Barmby, Kind & Jones, 2008; Rocard et coll., 2007). En ce sens, Hasni et coll. (2015) plaident « en faveur des fondements éducatifs qui mettent l'accent sur l'importance de l'engagement intellectuel des élèves dans leurs apprentissages »

(p. 88). Ils citent en exemple les «démarches d'investigation qui permettent l'engagement intellectuel des élèves dans l'ensemble du processus» (*Ibid.*). En parallèle, ces mêmes auteurs avancent l'hypothèse «qu'un enseignement scientifique et technologique de qualité est garant de l'augmentation de l'intérêt des jeunes pour ces champs disciplinaires et pour les métiers qui leur sont associés» (Hasni et coll., 2015, p. 1).

L'enseignement des S&T n'est d'ailleurs pas uniquement basé sur un contenu théorique à enseigner, puisque différentes habiletés, attitudes et méthodes doivent aussi être développées chez les élèves (Porchet, 2002). Face au désintérêt pour les S&T et au besoin de revoir les grandes orientations de l'éducation, les systèmes éducatifs se sont renouvelés dans la majeure partie du monde occidental et les curriculums tentent de donner une autre approche de cet enseignement qui ne doit plus uniquement transmettre des connaissances scientifiques, mais qui doit aussi favoriser l'apprentissage de démarches propres aux disciplines scientifiques et technologiques. Dans le contexte du renouveau pédagogique, les démarches en S&T sont présentées comme essentielles dans le PFEQ (MELS, 2007). Par ailleurs, Hasni et coll. (2015) avancent que :

C'est à travers un apprentissage des ST qui respecte la nature intrinsèque des disciplines scolaires qui composent ce domaine, et dont la didactique joue le rôle de gardien, que des intérêts réels et durables pourraient être déclenchés et que des carrières dans ces domaines pourraient alors se manifester. (p. 1)

Toujours selon Hasni et coll. (2015), «[l]a nature intrinsèque des sciences et de la technologie à l'école se décline en termes de savoirs conceptuels (lois, principes, concepts, modèles, etc.) et de processus (démarches scientifiques et technologiques de production des connaissances et des objets techniques)» (p. 1). Un enseignement de S&T mettant en œuvre des modèles et démarches de modélisation, pourrait dans ce contexte, favoriser un enseignement de qualité et alors aider certains jeunes dans l'apprentissage de S&T.

1.2 Sciences et technologies dans le programme de formation de l'école québécoise

Progressivement, de 2005 à 2010, un nouveau programme de formation, inscrit dans un renouveau pédagogique, a été implanté dans les écoles secondaires québécoises. Il s'agit d'une réforme scolaire dont l'ambition est de « préparer les enfants du Québec, pour affronter les défis de leur siècle » (Marois citée dans Charland, 2005, p. 172). Une refonte importante du curriculum a donc eu lieu et les programmes par objectifs ont été délaissés. En ce qui concerne les S&T, des champs disciplinaires jusqu'alors distincts, comme la biologie générale, la biologie humaine, la physique, la chimie et l'écologie, se sont trouvés regroupés au sein d'une seule discipline scientifique et technologique. Par ailleurs, l'enseignement est axé, du primaire au secondaire, à la fois sur l'appropriation de connaissances et sur le développement et l'utilisation de compétences disciplinaires et transversales par des élèves engagés de manière active dans leurs apprentissages (Marois, 1997), selon la perspective socioconstructiviste préconisée dans le PFEQ (MELS, 2007). Cette nouvelle vision a entraîné une modification des contenus, mais aussi une restructuration des démarches d'enseignement et d'apprentissage. Dans ce contexte, l'acquisition de connaissances n'est plus suffisante, même si elle demeure essentielle. Les élèves doivent « apprendre à les utiliser dans des contextes variés et de plus en plus complexes » (MELS, 2011, p. 5). C'est donc en mobilisant à la fois des connaissances, des techniques et des stratégies que l'élève pourra développer les compétences prescrites dans le PFEQ. Le but est de permettre la construction d'une culture scientifique et technologique de base accessible à tous.

Dans un monde où les avancées scientifiques et technologiques participent à notre quotidien et le modifient parfois en profondeur, cette culture scientifique et technologique est présentée comme une condition nécessaire pour que l'élève puisse « saisir la dimension éthique des questions soulevées par les transformations

profondes de son milieu » (MELS, 2007, p. 226). Il est rappelé dans le PFEQ (MELS, 2007) que les sciences et les technologies font partie intégrante des sociétés qu'elles ont en partie façonnées. En ce sens, elles appartiennent à notre héritage culturel et il est important « d'amener les élèves à élargir graduellement leur culture scientifique et technologique » (*Ibid.* p. 2). Dans cette optique, « la science et la technologie⁵ ne sont plus l'apanage de quelques initiés » (*Ibid.* p. 2), la volonté est de rehausser la dimension culturelle des apprentissages tout en assurant une meilleure qualification des élèves. Le PFEQ de S&T met aussi l'accent sur la nécessité de développer une image des sciences qui offre un moyen d'appréhender le monde qui nous entoure (*Ibid.*), et c'est alors une représentation dynamique des pratiques scientifiques qui est envisagée. Les élèves devraient ainsi acquérir une vision critique de l'activité scientifique et une attitude réflexive par rapport à celle-ci (*Ibid.*). Ils devraient être sensibilisés à ce que sont les sciences, à ce que les sciences permettent, à ce que l'on peut faire ou ne peut pas faire en sciences, afin d'appréhender la manière dont les sciences contribuent à la culture (Ministère de l'Éducation du Québec [MEQ], 2001). Cette façon d'aborder l'enseignement de S&T favorise le développement d'un esprit critique, permettant de prendre des décisions éclairées.

Parallèlement, l'activité scientifique est présentée comme l'acquisition de connaissances et de théories, mais elle est aussi envisagée comme un ensemble de sept démarches, identifiées essentiellement au 2^{ème} cycle du secondaire dans le PFEQ (MELS, 2007). On trouve ainsi l'observation, la démarche expérimentale, la démarche empirique, la démarche de conception, la démarche de construction d'opinion, la démarche technologique d'analyse et la démarche de modélisation (Doucet et coll., 2007). L'accent mis sur les démarches amène plusieurs interrogations quant à l'enseignement de S&T. Au regard de ces démarches, cet

⁵ Tel que dans le texte du PFEQ - ce singulier peut évidemment être sujet à discussion, dans le sens où il peut représenter un idéal de scientificité rarement incarné (Soler, 2009).

enseignement se révèle problématique à plusieurs niveaux, notamment en ce qui concerne la démarche de modélisation qui trouve une place importante dans le PFEQ où elle est décrite comme indissociable de toute activité scientifique, et faisant partie intégrante de la science⁶, comme le présente l'extrait suivant :

Constituée d'un ensemble de théories, de connaissances, d'observations et de démarches, elle [la science] se caractérise notamment par la recherche de modèles intelligibles, les plus simples possibles, pour rendre compte de la complexité du monde. Ces modèles peuvent par la suite être combinés à des modèles existants qui deviennent de plus en plus englobants. Les théories et les modèles sont ainsi constamment mis à l'épreuve, modifiés et réorganisés au fur et à mesure que de nouvelles connaissances se construisent. (MELS, 2007, p. 1)

Cependant, aucune indication claire et précise n'est donnée à l'intention des enseignants sur la façon de construire ces modèles intelligibles avec les élèves. Cette prescription est accompagnée de peu d'indications pour l'opérationnaliser et la traduire dans les pratiques d'enseignants. Tout d'abord, la démarche de modélisation met l'élève face à certaines nouveautés. On peut penser aux modes de représentation symbolique et à leur utilisation, ou encore à l'utilisation de différents registres de fonctionnement et leur articulation (Weil-Barais & Lemeignan, 1994). Or, selon Meirieu (2008), il est nécessaire pour mobiliser les élèves de s'appuyer sur ce qu'ils connaissent. Dans cette perspective, « il est impossible pour les élèves d'accéder à des connaissances trop éloignées de ce qu'ils savent déjà » (Weil-Barais & Lemeignan, 1994, p. 92). L'enseignant doit proposer des tâches qui permettent à l'élève d'articuler progressivement les différents registres expérimental, symbolique et cognitif pour arriver à une bonne maîtrise des activités de modélisation (*Ibid.*). Ces mêmes auteurs prennent en exemple une situation d'électrocinétique où il peut être demandé aux élèves de réaliser un montage permettant d'allumer une ampoule, puis de le modifier de façon à faire briller la lampe plus ou moins intensément (registres

⁶ Tel que dans le texte du PFEQ.

expérimental et cognitif). Ensuite, il y a lieu de leur faire identifier les grandeurs physiques sur lesquelles ils ont porté leur action afin d'obtenir la modification escomptée (registres symbolique et cognitif). La visée d'une telle situation est d'amener les élèves «à mettre en relation leurs actions sur les objets avec les variations de grandeurs physiques» (Weil-Barais & Lemeignan, 1994, p. 92). Dans cette perspective, l'enseignant va devoir jouer le rôle de médiateur auprès des élèves en les guidant au travers de ces processus de modélisation. En ce sens, il ne suffit plus à l'enseignant d'être à l'aise avec les contenus disciplinaires, mais il doit adapter et développer des pratiques d'enseignement qui permettent d'aider les élèves (*Ibid.*) en favorisant la mise en relation des différents registres évoqués afin de les initier et les familiariser aux modèles et à la démarche de modélisation. Comme l'écrit Martinand (2010) :

Pour ceux que préoccupe l'éducation scientifique des jeunes, la question des rapports entre concret et abstrait, factuel et formel ou encore l'articulation entre expérimental et théorique, implique celle de l'enseignement et de l'apprentissage de modèles scientifiques ou technologiques. Il faut alors s'intéresser au rôle que nous voulons faire jouer aux modèles, à la manière dont ils peuvent être appropriés, mis en œuvre, critiqués, adaptés et éventuellement récusés. (p. 20)

Si l'on prend l'exemple précédent de l'électrocinétique, il peut sembler facile de faire observer aux élèves que l'ampoule brille plus ou moins fortement si l'on change les composantes du circuit électrique. Il est déjà moins aisé de leur faire admettre que l'ampoule brillera avec la même intensité, quelle que soit sa position dans le circuit en série. Il est nécessaire pour cela d'introduire un ampèremètre qui permet de mesurer l'intensité qui traverse l'ampoule. Mais, comment alors faire appréhender le lien entre l'intensité du courant et l'intensité avec laquelle l'ampoule brille, ou encore l'indépendance de la place des éléments dans le circuit, de l'influence de la nature de ces éléments et la relation qui existe entre les grandeurs physiques que sont l'intensité et la tension? La relation entre la réalité et les théories se révèle complexe. Cette

difficulté est à l'origine de notre recherche qui porte un regard sur l'usage des modèles et de la démarche de modélisation comme outil didactique pouvant faciliter l'articulation entre le concret et l'abstrait, en enseignement de S&T au secondaire. Dans cette optique, les modèles et la démarche de modélisation apparaissent comme des moyens que peut mettre en œuvre l'enseignant de S&T pour faciliter ces mises en relation qui concernent différents registres présents en S&T : expérimental et théorique; factuel et formel; concret et abstrait.

1.3 Articulation difficile du concret et de l'abstrait

Les disciplines à fort contenu théorique utilisent une modélisation importante, fréquemment présentée sous une forme mathématique. La physique en est un exemple, et selon Robardet (1999), elle est « une discipline à la fois tributaire de la réalité qu'elle se propose d'étudier, et fortement structurée autour de concepts et de lois, sous forme de théories souvent très formalisées et rationalisées par la médiation du calcul mathématique » (p. 32). De ce fait, la physique est difficile d'accès pour les élèves, certes, mais aussi difficile à enseigner (Hulin, 1992; Lapointe, 2010; Robardet & Guillaud, 1997; Saltiel, 1993). Selon Hulin (1992), les difficultés rencontrées seraient inhérentes à la physique : elle suppose une grande maîtrise du langage et des outils mathématiques; elle se prête mal à un exposé linéaire de ses différents concepts; elle peut avoir recours à des expériences complexes qui, souvent, correspondent mal, peu, voire pas du tout avec la théorie (Portides, 2007). Hestenes (1987) considère ainsi la résolution de problèmes en physique comme un processus de modélisation, essentiellement mathématique. Il place alors la modélisation mathématique comme thème central de l'enseignement de la physique :

An analysis of the conceptual structure of physics identifies essential factual and procedural knowledge which is not explicitly formulated and taught in physics courses. It leads to the conclusion that mathematical modeling of the physical world should be the central theme of physics instruction (p.1). [...]

This means that the teaching of physical facts and theories should be subsidiary to teaching the principles and techniques of mathematical modeling⁷. (*Ibid.* p. 25)

Il est sans doute possible de généraliser ceci aux autres disciplines scientifiques possédant un fort contenu théorique qui véhiculent habituellement un important bagage mathématique. Les élèves ont donc besoin de connaissances en mathématiques, connaissances qu'ils possèdent la plupart du temps, mais que, bien souvent, ils ne savent pas utiliser pour traduire des actions et des événements en S&T (Weil-Barais & Lemeignan, 1994).

Si l'on se réfère, en exemple, à la modélisation d'une action mécanique, qui utilise le concept de vecteur, bien des élèves savent utiliser les rudiments du calcul vectoriel en mathématiques, mais ils éprouvent des difficultés à faire des liens entre le cours de mathématiques et le cours de S&T (Samson, 2007). Très peu transfèrent les propriétés connues de ces objets mathématiques dans le domaine de la physique. La modélisation des actions mécaniques est rendue difficile et se heurte à ce manque de maîtrise d'un langage mathématique abstrait. Un exemple similaire illustre autrement cette difficulté du rapport entre le concret et l'abstrait : celui du concept de mole. Il est un des éléments clés dans la modélisation de la transformation chimique, mais il reste très obscur pour les élèves. De nombreuses études ont d'ailleurs montré qu'il est un obstacle dans l'apprentissage de la chimie (Cissé, 2007; Fillon, 1997; Laugier & Dumont, 2003). En effet, son enseignement ne peut s'appuyer sur aucun concept quotidien connu et maîtrisé des élèves (Da Silva, 2004; Vygotski, 1934, 1997).

⁷ Une analyse de la structure conceptuelle de la physique met en évidence des connaissances factuelles et procédurales essentielles qui ne sont pas explicitement formulées et enseignées dans les cours de physique, ce qui implique que la modélisation mathématique du monde physique devrait être le thème central de l'enseignement de la physique. Ceci signifie que l'enseignement des faits et des théories physiques devrait être subsidiaire à celui des principes et des techniques liées à la modélisation mathématique. [traduction libre]

Or, selon Vygotski (1934, 1997), la science et la pensée scientifique se construisent par rectification des savoirs quotidiens. Les concepts scientifiques apparaissent et se forment ainsi à l'école, lors du processus d'apprentissage scolaire. L'école offre donc à l'élève une définition scientifique qui lui permet de penser. Cependant, sa pensée ne peut s'exercer que si l'élève trouve, à sa disposition, quelque chose à mettre en relation avec la définition scientifique que l'enseignant lui apporte et à partir duquel il peut ainsi raisonner et réfléchir. Da Silva (2004) précise que « le développement des concepts quotidiens doit immanquablement prendre appui sur un certain niveau de maturation des concepts spontanés » (p. 16).

On perçoit mieux la difficulté rencontrée pour le concept de mole qui pose tant de problèmes aux élèves, certes, mais aussi à beaucoup d'enseignants dans les stratégies d'enseignement qu'ils doivent développer : le champ empirique de référence sur lequel il est nécessaire de s'appuyer pour construire le concept scientifique reste énigmatique ou trop éloigné de ce que les élèves savent déjà.

Cette relation entre les champs concret et abstrait est parmi les difficultés centrales soulevées dans l'apprentissage et l'enseignement de sciences et de technologies (Martinand, 2010). Un premier questionnement général surgit alors concernant l'articulation des champs concret et abstrait dans l'enseignement de S&T et les stratégies que l'enseignant peut déployer afin de favoriser cette articulation. Dans cette perspective, Fischbein (1978) soulève l'importance cognitive des modèles dans le processus d'apprentissage. Selon Barry (2010), confrontés à une notion abstraite ou à une situation difficilement accessible, les individus auraient « tendance de façon conscience ou non, à fabriquer des substituts intuitivement plus accessibles de cette notion ou situation » (p. 51). Il semble donc que les modèles et la démarche de modélisation soient intuitivement utilisés par les individus pour rendre des notions abstraites plus accessibles et donc faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait.

1.4 Possibilités offertes par la modélisation dans l'enseignement de S&T

Pour aborder ce rapport complexe entre concret et abstrait, la démarche de modélisation revêt un grand intérêt, particulièrement dans le contexte des S&T. En effet, les modèles sont considérés par plusieurs auteurs comme un instrument conceptuel médiateur entre l'évidence et la théorie, entre le concret et l'abstrait (Morgan & Morrison, 1998; Portides, 2007). Ils seraient ainsi intrinsèques à la réflexion et au travail scientifique (Buty, Tiberghien & Le Maréchal, 2004; Harrison & Treagust, 2000a; Santini, 2010). La démarche de modélisation se révèle par ailleurs importante dans la juste compréhension d'un phénomène (Prins, Bulte, van Driel & Pilot, 2009) qu'elle permet d'envisager à des degrés de complexité différents, ou selon des théories différentes sans impliquer de contradiction ou d'incohérence sur le plan conceptuel. La modélisation offre donc des possibilités d'abstraction d'un même phénomène à différents niveaux, par la faculté à mettre en place une élaboration progressive d'un modèle (Chomat, Larcher & Méheut, 1988). Cependant, cette abstraction ne porte pas sur les phénomènes eux-mêmes, mais sur des idées émises à propos de ceux-ci (Sylla, 2005).

De nombreux didacticiens des sciences reconnaissent l'importance des modèles dans l'apprentissage de S&T (Constantinou, 1999; Halloun, 2007; Halloun & Hestenes, 1987; Hestenes, 1987; Wells, Hestenes & Swackhamer, 1995). Ils réclament ainsi un engagement des élèves dans cet apprentissage qu'ils souhaitent fondé sur les démarches de modélisation et d'investigation. Halloun (2004, 2007) précise d'ailleurs que les modèles permettent d'accéder à une science qui se rapproche de l'activité réelle du chercheur. Ils donnent aussi plus de sens aux apprentissages et fournissent des outils pédagogiques favorisant l'expression et la construction des connaissances chez les élèves. Dans cette optique, les modèles sont présentés comme des outils pédagogiques efficaces pour aider les élèves à évoluer dans le domaine de la science en soutenant le développement de leur culture scientifique (Clement, 1989; Giere,

1994; Gilbert, 1991; Gilbert & Boulter, 2000; Greca & Moreira, 2000; Halloun, 2007; Johsua & Dupin, 1989; Passmore & Stewart, 2002; Windschitl, Thompson & Braaten, 2008). Pourtant, une approche centrée sur la modélisation ne va pas de soi pour les enseignants : certains éprouvent des difficultés à cerner les principaux attributs d'un modèle ou d'une démarche de modélisation (P. Roy & Hasni, 2014), ce qui en limite une utilisation approfondie en salle de classe.

Giordan et De Vecchi (1987) affirment, quant à eux, que l'introduction du modèle dans une démarche d'élaboration conceptuelle amène les enseignants à réfléchir au contenu du message qu'ils veulent faire passer. Cette démarche les oblige, d'une part, à tenir compte des conceptions des élèves et, d'autre part, à se pencher sur les formes que le modèle peut prendre afin qu'il soit compréhensible pour les apprenants et en relation avec leurs conceptions. La démarche de modélisation est donc une aide conceptuelle majeure puisqu'elle contribue à modifier les conceptions premières d'un phénomène (Cheng & Brown, 2010; Giordan & De Vecchi, 1987). Il est ainsi reconnu que les modèles jouent un rôle dans l'apprentissage et dans l'élaboration conceptuelle (Cheng & Brown, 2010; Giordan & De Vecchi, 1987; Harrison & Treagust, 1994). Genzling et Pierrard (1994) rapportent d'ailleurs que la démarche de modélisation peut être mise en place en tant qu'aide didactique dans un enseignement visant l'acquisition d'un concept particulier. Ils affirment aussi que la conceptualisation résultante peut être incidente à l'utilisation d'une telle démarche. Giordan et De Vecchi (1987) voient également dans les modèles un appui didactique « sur le difficile chemin de la conceptualisation » (p. 186). Selon eux, un modèle efficace se manifeste dans la construction du savoir scientifique lorsque l'élève devient capable de « mettre en relation des éléments épars de ses connaissances antérieures, et surtout lorsqu'apparaissent de nouvelles questions qui ne pouvaient pas se poser avant l'introduction du modèle » (*Ibid.* p. 204).

Plusieurs chercheurs et auteurs insistent sur le fait que l'apprentissage d'une démarche de modélisation constitue un objectif prioritaire dans l'enseignement et l'apprentissage en S&T (Halloun, 2007; Harrison & Treagust, 2000a, 2000b; Hasni, 2010; Justi & Gilbert, 2002a, 2002b; Méheut & Psillos, 2004; Séré, 1992), la volonté première étant une compréhension globale de l'activité et de la connaissance scientifique par les élèves (Henze, van Driel & Verloop, 2007). Ainsi, les élèves devraient être en mesure de développer une réflexion critique sur le rôle et la nature des modèles en sciences (Prins, Bulte, van Driel & Pilot, 2008; Prins et coll., 2009). Au cours de ces processus de modélisation, l'apprenant prend conscience de la puissance des modèles scientifiques (Schwartz & Lederman, 2008) et construit ses propres modèles (Doerr, 1996; Prins et coll., 2008). Cheng et Brown (2010) affirment que la construction de modèles exploratoires permet de donner du sens à une connaissance scientifique abstraite. Parallèlement, il est clairement écrit dans le PFEQ (MELS, 2007) que les élèves doivent être sensibilisés aux démarches scientifiques, mais aussi à la nature de l'activité scientifique et technologique : l'apprentissage en S&T doit aller au-delà de la connaissance des concepts scientifiques (Henze et coll., 2007; Schwartz, Lederman & Crawford, 2004) ou d'une seule accumulation de faits et de théories (Hestenes, 1987; Robardet & Guillaud, 1997). Or, la construction du registre empirique ne se limite pas à une simple accumulation de données :

Les faits n'existent qu'à travers un ensemble de connaissances pratiques mises en jeu dans les investigations empiriques et qui se construisent avec eux, mais ils n'ont de sens que par leur relation explicite avec le monde des modèles et les savoirs conceptuels correspondants. (Orange, 2003, p. 84)

Ainsi, un enseignement centré sur la modélisation semble être un des moyens à privilégier pour sensibiliser à l'organisation de la connaissance scientifique (Hestenes, 1987). Weil-Barais et Lemeignan (1994) soutiennent que :

[l]es démarches de modélisation sont sous-entendues par un certain nombre de valeurs. Les principes d'économie, d'élégance, de non-contradiction qui président à l'élaboration des modèles et à leur utilisation relèvent d'une certaine idée de la science à laquelle les élèves doivent adhérer pour s'engager dans de telles démarches. (p. 106)

Dans cette même idée, Orange (1994a) précise que le passage d'un référent à l'autre évoqué précédemment n'est pas un simple changement de référentiel. Il s'agit de se placer dans un contexte explicatif, ce qui correspond à une façon de voir les sciences. Or, les enseignants de S&T ne doivent pas uniquement permettre aux élèves de se construire un bagage de connaissances, mais ils sont aussi censés délivrer une image de ce que prétend être l'activité scientifique (Poussielgue, 2006; Verhaeghe, Wolfs, Simon & Compère, 2004). Leur position épistémologique est donc cruciale. Pourtant, de nombreuses recherches (Abd-El-Khalick, 2012; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Belo, 2013; Guilbert & Méloche, 1993; Lederman, 1992; H. Lee & Witz, 2009; Poussielgue, 2006; Tsai, 2003, 2006) relèvent que beaucoup d'enseignants de S&T adopteraient une conception positiviste de l'activité scientifique difficilement compatible avec la construction et l'utilisation de modèles exploratoires.

1.5 Difficultés relatives à la mise en place d'un enseignement de S&T basé sur des démarches de modélisation

Il existerait ainsi une contradiction entre les points de vue contemporains relatifs à la nature de l'activité scientifique permettant de produire des connaissances perçues comme provisoires, et les pratiques d'enseignement mises en place qui resteraient principalement fondées sur des principes positivistes (Sin, 2014). Selon Santerre (2006), « l'école entretiendrait une image positiviste des sciences au lieu de les présenter comme une démarche imaginative, réflexive et interrogative » (p. 47). Or, une telle attitude ingénieuse est en accord avec les activités de modélisation, puisqu'il y a lieu de créer des modèles, de les faire évoluer, de les modifier ou de les récuser. Dans une telle posture positiviste, les enseignants privilégieraient la bonne réponse au

lieu de favoriser le processus d'investigation et une vision critique des sciences (*Ibid.*). Poussielgue (2006) affirme que la physique et la chimie sont souvent caractérisées par une approche inductive qui commence par l'observation d'un phénomène, suivie d'une mise en évidence des faits qui sont ensuite généralisés de façon à aboutir à la construction d'une loi que l'on utilise dans l'application d'exercices. D'éventuels travaux pratiques permettent alors une vérification expérimentale (*Ibid.*).

Cependant, « peut-on qualifier de positivistes des enseignants et un enseignement qui fondent les savoirs sur l'observation d'objets bien réels alors que le positivisme d'A. Comte nie cette réalité en soi? » (Bomchil & Darley, 1998, p. 85). Il semble donc y avoir une contradiction entre la posture positiviste attribuée aux enseignants et les pratiques inductives qui auraient lieu en salle de classe. Johsua et Dupin (1993) proposent d'ailleurs une redéfinition de cette pratique enseignante inductive en la reliant à la procédure pédagogique qui permet « de passer "le plus vite possible" des "faits" à "la loi", en s'appuyant sur la "rigueur", sur "l'observation" et surtout sur les "mesures" » (p. 215). Selon les auteurs (*Ibid.*)

C'est cette réduction, particulièrement naïve, et pourtant prédominante, que nous appelons le présupposé « inductiviste ». Ce terme ne recouvre pas ici un raisonnement particulier, au sens où le raisonnement par récurrence est considéré comme un raisonnement par induction en mathématiques. Il recouvre certaines catégories classiques du positivisme : classement, observation, comparaison, abstraction, généralisation. (p. 115)

Certes, les enseignants présentent généralement les savoirs comme des certitudes aux élèves. Or, l'inductivisme caractérise une épistémologie de l'incertitude : la généralisation effectuée représentant une sorte de pari sur l'universalité et l'ordre des choses (Morris & Brown, 2016). Il est vrai que l'induction revêt une certaine importance dans la conception qu'ont les enseignants de la construction des connaissances. Ils ont ainsi vraisemblablement recours à une forme d'induction

empirique (Bomchil & Darley), mais dans une version qui ne semble pas aussi naïve que celle décrite par Popper (2007) et Chalmers (1987). Popper (2007) définit l'induction comme « une inférence qui passe d'énoncés singuliers tels que les comptes-rendus d'observation ou d'expérience, à des énoncés universels, telles des hypothèses ou des théories » (Popper, 2007, p. 23). Chalmers (1987) reprend cette pensée et considère que « selon l'inductivisme naïf, donc, le corps du savoir scientifique se construit par induction à partir de ces fondements sûrs que constituent les données d'observation » (Chalmers, 1987, p. 27). En ce sens, l'induction telle que la définit Popper (2007) s'applique-t-elle à la pratique d'enseignement? Il faudrait alors que les enseignants aient recours à de nombreuses observations conduisant à une généralisation, résultant d'une inférence. Or, la plupart des pratiques d'enseignement en sciences expérimentales mettent en œuvre un nombre réduit d'expériences, voire une seule expérience dite prototypique. Selon Kapala (2010) :

[L]es pratiques de référence scientifiques comme les pratiques d'enseignement des sciences sont conçues comme des activités a priori ordonnées, balisées, imposées : OHERIC⁸ constitue pour les enseignants sollicités un cadre théorique dans lequel ils peuvent penser conjointement l'activité scientifique et l'activité d'enseignement des sciences. (p. 82)

La méthode OHERIC a effectivement cours en salle de classe (Cariou, 2004). Elle « représente la réduction des démarches scientifiques à une méthodologie érigée en dogme pour l'enseignement des sciences » (Kapala, 2010, p. 82). Par cette méthode qui semble naturelle, le doute, le tâtonnement et les vérifications qui font partie intégrante de l'activité des scientifiques sont évités, alors qu'ils devraient accompagner naturellement un apprentissage socioconstructiviste, où l'utilisation de la démarche de modélisation trouve sa pleine justification. En accord avec Bomchil et Darley (1998), nous pensons que :

⁸ Observation, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation, Conclusion (Giordan, 1978).

[la] conception des enseignants à propos de la construction des savoirs scientifiques repose à la fois sur la formation qu'ils ont eue et qu'ils retransposent et sur un principe d'économie (elle donne satisfaction dans son utilisation courante et reste peu coûteuse tant du point de vue praxéologique que du point de vue cognitif). (p. 91)

Le fait que les enseignants utilisent un nombre réduit d'expériences, voire une seule expérience prototypique renvoie, entre autres, au principe d'économie, induit par les contraintes institutionnelles et temporelles auxquelles les enseignants sont soumis et dont ils se plaignent fréquemment. La pratique d'enseignement utilisée renvoie en fait à la logique suivante : « je vois que, or je sais que, donc je conclus que... » (Bomchil & Darley, 1998). Le raisonnement de l'enseignant est plutôt de type déductif qu'inductif, tout en donnant une prépondérance au fait singulier : « On en arrive ainsi à une procédure de type "moule en creux", où pour transmettre aux élèves une épistémologie fortement imprégnée par l'empirisme et l'induction, on a recours à une pratique fondée sur le syllogisme et le dogmatisme » (Bomchil & Darley, 1998, p. 92). Il semble donc que le positionnement épistémologique des enseignants soit plus complexe et moins naïf que ce qui apparaît de prime abord (Mellado, 1998; Therriault, 2008). Il paraît par exemple difficile d'établir des relations causales entre les conceptions de la nature des sciences de futurs enseignants et leur pratique de l'enseignement des sciences (Therriault, 2008). Certaines études qui décrivent ces enseignants comme inductivistes et ayant une vision positiviste de l'activité scientifique, les définissent aussi comme réalistes, puisqu'ils auraient la conviction que c'est bien l'objet étudié qui fonde la connaissance, et non la connaissance qui fonde l'objet, selon l'un des primats du positivisme. Selon Bomchil et Darley (1998), « le qualificatif de positiviste paraît alors bien mal adapté pour désigner la vision qu'ont les enseignants des sciences expérimentales » (p. 89). Ceci témoigne de la présence de fortes tensions sur le plan épistémologique : les postures épistémologiques des enseignants de S&T relativement aux sciences se révélant parfois opposées à celles adoptées en milieu de pratique. Dans ce contexte, il est

délicat de réduire les postures épistémologiques des enseignants de S&T en deux conceptions opposées et incompatibles (Therriault, 2008).

Il apparaît cependant que beaucoup d'enseignants de S&T placent l'expérience en premier lieu (Johsua & Dupin, 1993). Elle est alors conçue « pour mettre en évidence les lois » (Robardet, 1990, p. 63), « pour coller au modèle » (*Ibid.* p.62), non pas le pour le questionner et le manipuler.

L'élève est spectateur d'un raisonnement sans tâtonnements, construit en dehors de lui. Il assiste à la révélation de la loi, à l'introduction des concepts. Même s'il manipule, ce n'est pas lui, mais le professeur qui conduit l'exploitation théorique de l'expérience. (*Ibid.*)

Dans ce contexte, les enseignants n'ont pas conscience que l'activité scientifique est avant tout une activité de modélisation (Brickhouse, 1990; Hestenes, 1987). Souvent, ils méconnaissent la manière dont les scientifiques utilisent les modèles et ils négligent l'importance de la modélisation en sciences (Friedrichsen, van Driel & Abell, 2011; Hestenes, 1987; Justi & Gilbert, 2002a, 2002b; P. Roy & Hasni, 2014). Par exemple, une pratique courante chez beaucoup d'enseignants de S&T est d'identifier les équations d'un modèle avec le modèle lui-même et de proclamer les énoncés scientifiques comme des vérités en soi (Hestenes, 1987), omettant le statut provisoire qu'ils possèdent. De ce fait, les modèles et le travail autour de ces modèles, qui peuvent être modifiés, discutés ou encore rejetés (Giordan & De Vecchi, 1987), ne sont pas évidents pour les apprenants (Friedrichsen et coll., 2011; Hestenes, 1987; Justi & Gilbert, 2002a, 2002b; P. Roy & Hasni, 2014).

Selon Robardet et Guillaud (1997), l'exemple de l'enseignement de l'électrocinétique illustre ces difficultés précédemment évoquées. Il est en effet classique d'introduire l'intensité et la tension de manière théorique, puis de faire effectuer quelques mesures expérimentales. Ensuite, la notion de résistance est abordée à partir de mesures d'intensité et de tension aux bornes d'un conducteur ohmique, l'élève ayant pour

tâche de constater qu'il existe une relation fonctionnelle linéaire entre la tension aux bornes du conducteur ohmique et l'intensité qui le traverse, à partir d'un nombre – pas trop gros – de données expérimentales. En somme, il lui suffit de lire la loi déjà écrite dans le phénomène (Malafosse & Lerouge, 2000). La loi d'Ohm est alors présentée sous forme algébrique par l'expression $U = R \times I$. Dans une telle démarche, l'élève applique une stratégie élaborée d'avance par l'enseignant, ce qui le prive d'un travail d'émission d'hypothèses, de conception d'un dispositif expérimental, et surtout d'une réelle activité de modélisation (Malafosse & Lerouge, 2000).

Cette attitude acceptable pour des scientifiques chevronnés pose de grandes difficultés aux élèves qui ont besoin de reconnaître, de manière probante, la phase d'interprétation comme une composante essentielle d'élaboration d'un modèle (Hestenes, 1987). Ainsi, sans cette étape d'interprétation adéquate, les équations d'un modèle ne signifient rien, elles ne sont que des relations abstraites entre des variables mathématiques. Dans ce contexte, la loi d'Ohm $U = R \times I$ ne représente pour les élèves qu'une commodité mathématique permettant de faire des calculs et de résoudre des problèmes. Ils aperçoivent rarement sa signification sur le plan physique : une modélisation mathématique du comportement d'un conducteur ohmique traversé par un courant, qui permet d'expliquer de manière concise que la tension aux bornes d'un conducteur ohmique augmente lorsque le courant qui traverse ce dernier augmente.

De nombreuses études ont montré que les enseignants possèdent des connaissances limitées et insuffisantes des modèles et sur les modèles (Harrison & Treagust, 2000a; Justi & Gilbert, 2000, 2002a, 2002b; P. Roy & Hasni, 2014; van Driel, De Jong & Verloop, 2002; van Driel & Verloop, 1999, 2002). Par ailleurs, Roy et Hasni (2014) avancent que certains enseignants québécois ont une compréhension partielle des modèles et de la démarche de modélisation, et ce, tant d'un point de vue épistémologique que d'un point de vue fonctionnel. Aux États-Unis, dans une étude d'envergure, Harrison et Treagust (2000b) émettent l'idée que certains enseignants

envisagent les modèles d'une manière mécanique et naïve, les considérant comme la bonne réponse détenue par les scientifiques. Ces mêmes auteurs (*Ibid.*) pensent que les concepts, les modèles ou les théories ne sont pas enseignés de manière claire et compréhensible et que la majorité des modèles utilisés par les enseignants restent relativement triviaux et seraient pour l'essentiel basés sur l'analogie (*Ibid.*). Il en est ainsi de l'analogie hydroélectrique reconnue pour entretenir des obstacles épistémologiques majeurs dans l'enseignement de l'électrocinétique. Pour Martinand (2010), il existe donc une préoccupation évidente devant la réalité d'un « enseignement dogmatique où les modèles sont présentés comme des évidences non questionnées, non rattachées à des problèmes » (p. 20). En outre, le plus souvent, un modèle, donné comme vérité absolue une année, peut être rejeté l'année suivante sans plus d'explications, lorsque comme suite à l'enseignement reçu par les élèves et à la progression de l'apprentissage, le modèle étudié atteint ses limites et que son pouvoir explicatif ou prédictif est dépassé. On peut utiliser en exemple la succession des modèles servant à expliciter le concept d'atome – modèles de Dalton, de Rutherford, de Bohr, de Thomson qui, malgré tout, rencontrent chacun un champ explicatif dont il conviendrait d'explorer les limites avec les élèves. Chaque modèle appartient à une époque et donc à un contexte scientifique. Son évolution, sa modification, voire son rejet n'est que la juste illustration des caractéristiques des modèles : il n'est qu'un outil pour penser (Sanchez, 2008), une construction de l'esprit fournissant une réponse provisoire et partielle à un problème scientifique donné (Sanchez & Prieur, 2006). Il en est de même pour les différents modèles particuliers qui permettent de décrire la matière. Cette description peut être si familière qu'elle en devient presque tangible, alors qu'un modèle atomique ou particulière ne reste, par définition, qu'un objet abstrait permettant d'expliquer les propriétés de la matière concrètement observable.

De plus, ces modèles sont le plus souvent présentés aux élèves comme la réalité elle-même (Méheut, 1996). Par ailleurs, les élèves sont rarement appelés à modéliser par

eux-mêmes (S. Bachelard, 1979), et les démarches de modélisation « paraissent moins représentées dans les démarches réalisées par les élèves » (Monod-Ansaldi et coll., 2010, p. 92). Or, selon Hasni (2010), dans un tel enseignement censé tenir compte de l'activité scientifique, « l'apprentissage du processus de modélisation est au moins aussi important que l'apprentissage des modèles eux-mêmes » (p. 13). Giordan et De Vecchi (1987) précisent d'ailleurs que les modèles devraient être présentés comme des outils approximatifs pouvant être manipulés, modifiés, abandonnés. Dans cet ordre d'idées, Martinand (2010) propose d'engager une réflexion « sur la manière dont on pourrait enseigner et faire apprendre la modélisation, c'est-à-dire la construction, l'adaptation, l'utilisation des modèles » (p. 20). Selon cet auteur, la question ne se pose pas en termes de bon modèle à enseigner. Il s'agit plutôt de concevoir l'enseignement des sciences dans une volonté de faire percevoir aux élèves les attributs essentiels des modèles : « ils sont hypothétiques, ils sont modifiables, ils sont pertinents pour certains problèmes dans certains contextes » (*Ibid.* p. 20). En aucun cas, ils ne doivent se substituer à la réalité concrète afin qu'à tout moment ils puissent être améliorés, rejetés ou remplacés (Giordan et De Vecchi, 1987).

Beaucoup d'enseignants ne sont pas conscients de l'importance de la démarche de modélisation en S&T ni de la manière dont les scientifiques utilisent les modèles. Ils ne semblent, de ce fait, pas parvenir à une compréhension complète de la modélisation scientifique (Crawford & Cullin, 2004; Danusso, Testa & Vicentini, 2010; P. Roy & Hasni, 2014). D'autres ne sont pas outillés pour mettre en place un enseignement basé sur la démarche de modélisation (Abd-El-Khalick & Akerson, 2004; Crawford & Cullin, 2004; Lederman, 1992). En conséquence, les enseignants auraient pour la plupart une connaissance insuffisante de la nature des sciences et de l'activité scientifique (Gagné, 1994; Gallagher, 1991; Guilbert & Méloche, 1993; Schwartz et coll., 2004). Pourtant, le rôle des modèles et celui de la démarche de modélisation sont largement reconnus comme étant centraux dans la compréhension

de la nature de l'activité scientifique (Buty et coll., 2004; Grandy, 2003; Sensevy & Santini, 2006). Selon Grandy (2003), une mauvaise connaissance de la nature des théories scientifiques est un obstacle à l'éducation scientifique. Les activités modélisantes (utilisation et construction de modèles) permettent notamment de prendre conscience du processus non linéaire de l'activité scientifique (Chalmers, 1987; Hestenes, 1987; Kuhn, 1970; Schwartz et coll., 2004) et ainsi d'avoir une image non déformée de cette activité à laquelle les élèves doivent être sensibilisés, comme il est prescrit dans le PFEQ (MELS, 2007).

Il serait donc souhaitable que les enseignants détiennent non seulement une bonne connaissance des différents modèles utilisés en S&T, mais aussi une bonne connaissance *sur* les modèles (Danusso et coll., 2010; Grandy, 2003; Hestenes, 1987). Autrement dit, il est indispensable pour les enseignants d'être conscients du rôle des modèles dans le processus de l'activité scientifique, et de l'importance de la modélisation en tant que soutien essentiel à la compréhension des concepts scientifiques utilisés en classe (*Ibid.*). Ils devraient aussi prendre conscience de leur importance et de leurs limites : les modèles demeurent des outils et sont donc adaptés à une situation donnée. Il serait en fait prioritaire d'amener progressivement les élèves à modéliser en invoquant des faits qu'ils auront recueillis lors de démarches d'investigation scientifique (Hasni & Samson, 2007, 2008). En outre, les activités liées à la modélisation sont rares dans les pratiques d'enseignement (Dagher, 1994, 1995; Henze et coll., 2007; Justi & Gilbert, 2002a, 2002b) et bien souvent, la manipulation du champ empirique de référence reste trop peu développée (Robardet et Guillaud, 1997). Plusieurs études révèlent aussi que la démarche de modélisation n'est pas véritablement enseignée en classe (Brickhouse, 1990; van Driel & Verloop, 1999, 2002). Il y a de ce fait une difficulté, dans cet enseignement, à articuler de manière cohérente, les champs concret et abstrait (Martinand, 2010). Ce dernier précise que cette question des rapports entre le concret et l'abstrait réside dans le problème de l'articulation entre l'expérimental et le théorique. Or, cette articulation

passé forcément par la prise en compte des modèles (Martinand, 2010; Sensevy et Santini, 2006).

La difficulté de structurer l'enseignement autour des modèles et de la démarche de modélisation ne signifie pas pour autant que les enseignants ne se préoccupent pas de l'articulation entre le concret et l'abstrait, articulation qui, selon Martinand (1995, 2010b), reste fondamentale pour ceux qui s'intéressent à l'éducation scientifique des jeunes. À la lumière des problèmes soulevés, il serait donc intéressant de voir comment les enseignants travaillent cette articulation. Dans le prolongement de cette intention réside l'idée de regarder avec eux d'une part, comment aborder ces rapports entre le concret et l'abstrait avec leurs élèves, et d'autre part, comment la modélisation pourrait contribuer à cette articulation si importante en S&T, et ce, à travers cette démarche telle qu'elle est préconisée dans le PFEQ (MELS, 2007). En effet, le constat d'échec des modèles *top-down* relatifs aux tentatives de renouvellement des pratiques d'enseignement en sciences (Couture, Dionne, Savoie-Zajc & Aurousseau, 2015) nous engage sur la voie d'un travail avec les praticiens afin de favoriser le développement de connaissances sur les pratiques d'enseignement en S&T, au regard des modèles et de la démarche de modélisation.

En résumé, il ressort de ce qui précède que l'une des difficultés majeures de l'enseignement de S&T réside dans l'articulation du concret et de l'abstrait (Martinand, 2010) qui passe par la prise en compte des modèles et de la démarche de modélisation (Sensevy et Santini, 2006). Toutefois, les enseignants auraient pour certains une compréhension partielle (P. Roy et Hasni, 2014) et feraient une utilisation réductrice des modèles et de la démarche de modélisation (Harrison et Treagust, 2000). De ce fait, plusieurs auteurs (Henze et coll. 2007; Justi & Gilbert 2002a) soulignent la difficulté des enseignants à structurer un enseignement de S&T mettant en avant le rôle crucial de modèles et de la démarche de modélisation. Ainsi, ces différents éléments nous conduisent à nous interroger sur la

manière dont la démarche de modélisation peut contribuer à l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement de S&T au 2^{ème} cycle du secondaire.

1.6 Question et objectifs de recherche

En cohérence avec les éléments soulevés précédemment dans la problématique, notre volonté est bien de comprendre l'apport de la modélisation pour faciliter l'articulation reconnue difficile du concret et de l'abstrait en S&T au secondaire. Pour atteindre cet objectif, nous envisageons d'explorer, avec les enseignants, les pratiques d'enseignement où ils recourent à des modèles et des démarches de modélisation. Dans cette perspective, notre question de recherche s'énonce comme suit :

Comment les modèles et la démarche de modélisation peuvent-ils contribuer à l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement des sciences et des technologies au 2^{ème} cycle du secondaire à travers différentes situations d'enseignement?

Trois objectifs spécifiques guident la recherche et permettent de répondre à la question de recherche.

Objectif 1 : Analyser les pratiques d'enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.

Objectif 2 : Développer, avec les enseignants, des ajustements de pratique qui font appel à des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation, afin de faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait.

Objectif 3 : Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.

1.7 Pertinence sociale et scientifique de la recherche

D'un point de vue scientifique, cette étude permet de documenter des connaissances sur les pratiques d'enseignement centrées sur les modèles et la démarche de modélisation et sur les stratégies mises en œuvre par les enseignants pour articuler le concret et l'abstrait en S&T. La réflexion autour de pratiques d'enseignement existantes et l'analyse d'ajustements de pratique (Savoie-Zajc, 2005) envisagés se placent dans une perspective de critique évolutive de pratiques (Van Der Maren, 1995). L'ambition est de produire des savoirs nouveaux sur des stratégies efficaces pour faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait mettant en œuvre un enseignement de la modélisation.

D'un point de vue social, les procédés adoptés lors de cette recherche mettent les enseignants au cœur du processus, puisqu'ils en sont les acteurs et les réalisateurs. La participation à une communauté de pratique soutenue (Chanier & Cartier, 2006; Saint-Onge & Wallace, 2003) leur permet de mettre en œuvre une pratique réflexive (Erickson, Farr Darling, Clarke & Mitchell, 2004; Perrenoud, 2001), qui est « perçue comme une des voies du développement professionnel des enseignants » (Chanier & Cartier, 2006, p. 65), et ce, depuis les travaux de Schön (1994) à la fin des années 1980. Cette pratique peut être envisagée comme un élément de formation continue pour les enseignants en service (Ferraro, 2000).

Cependant, avant de nous engager pleinement dans cette étude, il y a lieu d'établir les fondements de notre recherche : c'est ce que nous abordons dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 2

CADRE CONCEPTUEL

FONDEMENTS THÉORIQUES SOUS-JACENTS AUX PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT POUR ARTICULER LE CONCRET ET L'ABSTRAIT EN SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Les difficultés relatives à l'enseignement de S&T, et notamment à la démarche de modélisation, soulevées dans la problématique amènent maintenant à identifier les concepts qui vont appuyer la construction d'un devis de recherche permettant :

- 1) d'analyser les pratiques d'enseignement que les enseignants mettent en œuvre, concernant les modèles et la démarche de modélisation,
- 2) de développer, avec les enseignants, des ajustements de pratique qui font appel à des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation afin de faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait,
- 3) d'analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.

Ces éléments nous conduisent donc à préciser certaines assises théoriques relatives à l'apprentissage et à l'enseignement de S&T.

En premier lieu, une synthèse des visées de l'enseignement de S&T permet d'en comprendre les dimensions et de saisir la place essentielle des démarches et des savoirs au cœur de cet enseignement. Les visées éducatives sont aussi une perspective d'analyse à laquelle nous référons dans notre troisième objectif. Pour entrer dans le cœur du sujet, les notions de concret et d'abstrait entre lesquelles le modèle sert de médiateur sont définies, ainsi que les concepts de modèle, de loi et de théorie, dans le but de clarifier et préciser l'acceptation de ces différents termes propres à l'activité scientifique et technologique. La démarche de modélisation est ensuite envisagée

pour nous permettre de cerner la place de cette démarche telle qu'elle est présentée dans le PFEQ de S&T (MELS, 2007).

La volonté de travailler avec les enseignants autour de leurs pratiques d'enseignement, lors de situations d'apprentissage utilisant les modèles et la démarche de modélisation, nous amène à définir les concepts de pratique d'enseignement et de situation d'apprentissage. Au sein de ces situations d'apprentissage, nous voulons identifier des stratégies qui permettent de concilier le concret et l'abstrait en S&T. Nous définissons donc ce concept de stratégie tel que nous l'entendons dans ce travail. De plus, nous abordons la question des pratiques d'enseignement sous l'angle des pratiques effectives et des pratiques déclarées. Nous définissons donc ces concepts et l'intérêt qu'ils représentent pour analyser les pratiques que les enseignants mettent en œuvre, relativement aux modèles et à la démarche de modélisation. Les objectifs 2 et 3, qui concernent des ajustements de pratique envisagés pour faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait à l'aide de la démarche de modélisation, conduisent à définir le concept d'ajustements de pratique. Enfin, nous présentons les concepts didactiques liés à la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1998) et à la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy, 2011d) en accord avec la perspective que nous utilisons pour présenter et analyser les données recueillies.

2.1 Visées éducatives de l'enseignement de sciences et technologies

Les sciences et les technologies occupent une place essentielle dans la formation scientifique au secondaire. Selon Morge et Boilevin (2007), l'enseignement de S&T devrait comporter trois dimensions essentielles. En effet, son apprentissage implique l'acquisition de savoirs qui concernent les concepts, les lois et les théories. Il se rapporte aussi à l'appropriation de méthodes et de démarches qui permettent de comprendre le fonctionnement de l'activité scientifique (Dahmani & Schneeberger,

2011). La question du changement conceptuel est par ailleurs fondamentale, dans l'optique où l'apprentissage de concepts scientifiques se fait par la rectification de concepts quotidiens ou de sens commun (Vygotski, 1934, 1997) et par l'évolution de conceptions erronées vers des conceptions plus acceptables d'un point de vue scientifique (Giordan & De Vecchi, 1987; Vosniadou & Brewer, 1994). Or, selon plusieurs auteurs (Bisaut, 2005; Jaubert & Rebière, 2000; Lhoste, Boiron, Jaubert, Orange & Rebière, 2011), le changement conceptuel est fortement rattaché à la question des langages. Cette vision se retrouve dans le PFEQ (MELS, 2007) où « l'appropriation de concepts » est vue comme « indissociable des langages propres à la science et à la technologie » (p. 6).

L'enseignement scientifique et technologique fait aussi référence aux aspects culturels qui ne doivent pas être négligés : appréhendés par l'histoire et la philosophie des sciences, ceux-ci devraient donner un aperçu des relations entre sciences et société. Ainsi, l'enseignement de S&T, qui n'a plus pour unique but de former des élites (Morge & Boilevin, 2008), doit offrir une culture de base à tous les citoyens de façon à les aider à prendre des décisions éclairées dans une société en perpétuel mouvement. En cohérence avec ces visées éducatives, l'enseignement de S&T ne se résume donc pas uniquement au cumul de connaissances. Au Québec, le Conseil de la Science et de la Technologie (CST), aujourd'hui disparu, insistait déjà en 2003 sur cette culture scientifique nécessaire et sur la place essentielle des S&T au secondaire en déclarant que : « La culture scientifique et technique s'est imposée au Québec comme une des composantes majeures des politiques publiques en science et technologie » (Santerre, 2003, p. 3).

Dans le PFEQ (MELS, 2007), la culture scientifique est présentée comme faisant partie de notre patrimoine collectif. Le domaine de la mathématique, de la science et

de la technologie⁹ doit en effet « contribuer à la formation générale de l'élève » (*Ibid.* p. 225), lui fournissant l'occasion de poursuivre son développement cognitif et intellectuel et plus particulièrement la rigueur, le raisonnement, l'intuition, la créativité et la pensée critique. De plus, « l'observation méthodique, le questionnement, l'expérimentation et le recours aux langages de la culture mathématique, scientifique ou technologique » (*Ibid.* p. 225) doivent permettre à l'élève de « se représenter le monde dans lequel il vit pour mieux le comprendre et s'y adapter » (*Ibid.* p. 225). C'est au travers de trois compétences disciplinaires que l'élève doit construire ses propres connaissances, s'approprier des concepts et développer sa culture scientifique et technologique (MELS, 2007). La première compétence est axée sur une dimension conceptuelle et méthodologique puisqu'il s'agit de « chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique » (*Ibid.* p. 268). Cette compétence doit permettre à l'élève de s'approprier des concepts et des stratégies « à l'aide des démarches d'investigation et de conception qui caractérisent respectivement le travail du scientifique et celui du technologue » (*Ibid.*). La deuxième compétence intitulée « mettre à profit ses connaissances scientifiques et technologiques » (*Ibid.*) insiste davantage « sur la conceptualisation et le transfert des apprentissages notamment dans la vie quotidienne » (*Ibid.*). Cependant, elle « fait aussi appel à la manière dont les savoirs scientifiques et technologiques sont construits, standardisés, acquis et utilisés... » (*Ibid.* p. 278). La troisième compétence « communiquer à l'aide des langages utilisés en science et en technologie » (*Ibid.* p. 20) rejoint la question des langages qu'ils soient de type verbal, symbolique ou mathématique. Elle se rapporte aux habiletés communicationnelles en faisant « appel aux divers langages propres à cette discipline et essentiels au partage d'information, de même qu'à l'interprétation et à la production de messages à caractère scientifique ou technologique » (*Ibid.* p. 20). Le

⁹ L'absence de pluriel se justifie ici par l'usage ainsi fait dans le PFEQ.

tableau ci-dessous reprend les visées éducatives de l'enseignement de S&T, envisagées par de nombreux auteurs, mais qui rejoignent les prescriptions que l'on trouve dans le PFEQ (2007) :

Tableau 1.1 : Visées éducatives de l'enseignement de sciences et de technologies

VISÉES ÉDUCATIVES DE L'ENSEIGNEMENT DE SCIENCES ET DE TECHNOLOGIES
<p>Acquérir des savoirs – concepts, lois, théories – changement conceptuel (Giordan & De Vecchi, 1987; Morge & Boilevin, 2007; Vosniadou & Brewer, 1994).</p> <p>S'approprier méthodes et démarches – compréhension du fonctionnement de l'activité scientifique (Dahmani & Schneeberger, 2011).</p> <p>Développer des langages propres aux sciences et aux technologies (Bisaut, 2005; Jaubert & Rebière, 2000; Lhoste et coll., 2011).</p> <p>Développer une culture de base de façon à prendre des décisions éclairées dans une société en perpétuel mouvement (Morge & Boilevin, 2007).</p>

Il est donc de la responsabilité des enseignants de S&T de favoriser chez les élèves le développement de ces différentes compétences afin de leur donner des rudiments d'alphabétisation scientifique (Coban, 2010; Fourez, 2009) et de trouver un juste équilibre entre connaissances, culture et démarches, sans oublier de favoriser l'expression de différents langages propres aux S&T. Or, selon Sensevy et Santini (2006), les conceptions à propos des modèles sont en étroite relation avec « un système d'idées relatif à ce que sont la science et l'activité scientifique même » (p. 164). De plus, la démarche de modélisation permet de donner un aperçu de l'activité scientifique (Hestenes, 1987). Elle est aussi un moyen de développer la culture scientifique (Clement & Steinberg, 2002; Giere, 1994; Passmore & Stewart, 2002). Elle favorise par ailleurs l'acquisition de connaissances scientifiques (Clement & Steinberg, 2002) et de concepts scientifiques (Cheng & Brown, 2010; Genzling & Pierrard, 1994; Giordan & De Vecchi, 1987; Harrison & Treagust, 1994). La démarche de modélisation est donc étroitement liée à la compétence 1 : « chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique »

(MELS, 2007, p. 268) et à la compétence 2 : « mettre à profit ses connaissances scientifiques et technologiques » (*Ibid.*). Les modèles et démarches de modélisation se révèlent être des outils adaptés aux différentes exigences de l'enseignement de S&T et du programme de formation de l'école québécoise, notamment au 2^{ème} cycle du secondaire (MELS, 2007).

2.2 Concret et abstrait

Comme nous l'avons vu dans la problématique, l'articulation du concret et de l'abstrait se révèle être l'une des difficultés et l'une des préoccupations majeures de l'enseignement de S&T (Martinand, 2010). Il y a lieu de clarifier la signification de ces termes dans leur acception commune et scientifique.

Au sens commun des termes, le concret concerne ce qui se rapporte à la réalité matérielle, tangible, telle qu'elle se donne à percevoir dans toutes ses singularités, à ce qui peut être immédiatement perçu par les sens ou être imaginé perceptible (TLFi, 2012). L'abstrait est quant à lui défini comme la résultante de l'action de l'esprit lorsqu'il se représente une ou plusieurs propriétés d'un ensemble de phénomènes en les isolant des autres (*Ibid.*). L'usage courant insiste donc « sur l'absence de rapport immédiat avec la réalité » (Dekens, 2004, p. 9).

Dans une perspective plus philosophique, le terme concret définit ce qui résulte de la perception et de l'intuition (Formarier, Poirier Coutansais & Psiuk, 1999). Kant (1886) voit l'intuition comme une source de connaissance qui se rapporte immédiatement aux objets. Il existe selon lui deux formes de représentations : l'intuition et le concept. Kant oppose ainsi ce qui se rapporte immédiatement à l'objet (l'intuition) à ce qui ne se rapporte que médiatement à l'objet (le concept) : « C'est donc au moyen de la sensibilité que des objets nous sont donnés, et seule elle nous

fournit des intuitions; mais c'est par l'entendement qu'ils sont pensés, et c'est de lui que sortent les concepts ». (Kant, 2012, p. 61)

Si le concret s'ancre dans la réalité, la pensée qui s'élève de cette réalité nous rapproche de l'abstrait et de l'abstraction : « une qualité abstraite et toujours tirée d'un objet réel, même si elle contient un degré de généralité supérieur à celui-ci » (Dekens, 2004, p. 9). Ainsi, l'abstrait peut se définir aussi dans différentes oppositions (Lalande, 2011). Il peut être le séparé par rapport à l'ensemble, puisqu'abstraire signifie laisser de côté certains aspects d'une représentation. Il peut aussi s'agir du général, opposé au particulier, l'abstraction permettant alors de saisir des caractéristiques communes. Enfin, on peut définir l'abstrait comme un construit, obtenu par séparation ou généralisation, par opposition à un donné, qui se rapproche de l'immédiateté (*Ibid.*). Ces diverses déterminations, qui ne se recouvrent pas totalement, montrent bien la difficulté liée à la notion d'abstrait ou à celle d'abstraction. Dans tous les cas, la pensée implique l'abstraction et cette dernière se définit par les trois déterminations évoquées : généraliser; analyser; construire. Ainsi, si les sciences et technologies font largement appel au domaine expérimental et concret, elles utilisent aussi beaucoup d'outils abstraits, construits par l'esprit, tels que les concepts, les lois, les théories ou encore les modèles, ces derniers devant, selon Martinand (2010), être nécessairement pris en compte dans la relation entre le concret et l'abstrait. Ceci nous amène à définir les concepts de modèle et démarche de modélisation, puis à préciser les distinctions qui existent entre concept, modèle, loi et théorie.

2.3 Modèle et démarche de modélisation

Les modèles et la démarche de modélisation, centraux dans l'articulation du concret et de l'abstrait en S&T, se révèlent fondamentaux dans cet enseignement (Martinand, 2010). Selon Sensevy et Santini (2006) « comprendre la science et ses modélisations, c'est donc comprendre ce passage de l'abstrait au concret » (p. 167). Utilisés

judicieusement, les modèles favorisent l'acquisition de connaissances (Clement & Steinberg, 2002; Halloun, 2004) et de concepts propres à ces disciplines (Cheng & Brown, 2010; Genzling & Pierrard, 1994; Giordan & De Vecchi, 1987; Harrison & Treagust, 1994). Ainsi, les modèles, les concepts, mais aussi les lois et les théories sont des outils largement utilisés en S&T. Il y a donc lieu de les définir et de saisir tant ce qui les distingue que ce qui les rapproche. Ces notions font appel à des questionnements aussi bien philosophiques qu'épistémologiques, ou encore historiques.

2.3.1 Modèle

Il convient de cerner l'acceptation scientifique du terme « modèle ». D'un point de vue épistémologique, et en référence à Planck et Einstein, nous admettons l'existence d'un monde réel, indépendant de l'observateur et distinct de notre pensée (Fourez, 2009; Oldache, Khiari & Belarbi, 2015). La finalité de l'activité scientifique est de comprendre ce monde réel. Notre pensée construit alors « des systèmes d'idées scientifiques que nous considérons comme une connaissance de ce monde réel » (Halbwachs, 1974, p. 38). Le monde réel et sa représentation scientifique sont donc distincts. Utilisé en premier lieu dans les sciences dites physiques, telles la mécanique, la thermodynamique ou encore l'électrocinétique, le modèle possède une double face abstraite-concrète (Martinand, 2010) et quel que soit l'aspect sous lequel on le considère, « [il] fait toujours fonction de médiateur entre un champ théorique dont il est une interprétation et un champ empirique dont il est une formalisation » (Sinaceur, 2006, p. 759).

Le schéma ci-après présente les principales caractéristiques du modèle. Il met en évidence la relation entre champ théorique et champ empirique, ainsi que la double face abstraite-concrète (Martinand, 2010) qui permet la construction d'un modèle de l'objet ou du phénomène étudié.

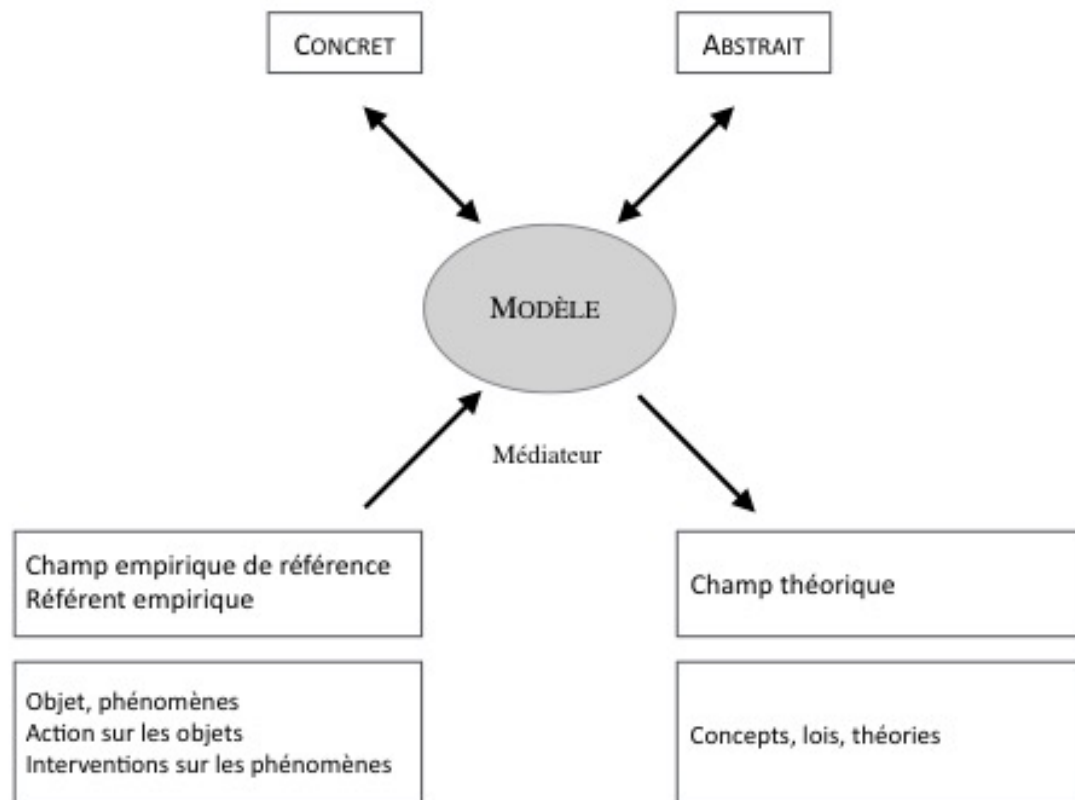


Figure 2.1 : Rapport entre le concret et l'abstrait, inspiré de Martinand (2010)

Le rôle crucial et grandissant des modèles dans la construction des connaissances et des théories scientifiques n'est plus à démontrer (Buty et coll., 2004; Wells et coll., 1995). Cependant, il semble difficile de proposer une définition unifiée et non équivoque du terme « modèle », qui présente une grande variété d'usages (Astolfi & Delevay, 1989; Drouin, 1988). Selon Johsua et Dupin (1993), « l'espace où la science utilise les modèles s'étend de la représentation presque figurative à celui de la mise en relation de concepts d'un haut degré d'abstraction » (p. 15). Dupin (1995) accorde trois sens au terme modèle : « L'image privilégiant l'aspect figuratif du modèle; la théorie mettant en avant le côté construit du modèle, par opposition au côté empirique; la mathématisation, qui retient en premier lieu la dimension formelle. » (p. 248)

De plus, le terme de modèle est employé dans de nombreux champs disciplinaires et selon différents points de vue : celui des psychologues (Gentner & Stevens, 1983), des scientifiques (Hestenes, 1987, 1992), des philosophes des sciences (S. Bachelard, 1979; Bunge, 1973; Kuhn, 1970; Lecourt, 2008) et des chercheurs en sciences de l'éducation (Astolfi & Delevay, 1989; Gilbert, De Jong, Justi, Treagust & van Driel, 2004; Johsua & Dupin, 1993; Robardet & Guillaud, 1997). À travers cette diversité d'usage, « le sens oscille entre concret et abstrait, figuration et formalisme, image et équation, échantillon et étalon, réalisation matérielle et norme abstraite » (Lecourt, 2008, p. 756). Hestenes (1987) affirme qu'il est difficile de trouver une définition satisfaisante du terme « modèle » ou de celui de « théorie » dans les ouvrages de physique. S. Bachelard (1979) définit toutefois le modèle comme « un instrument d'intelligibilité » (p. 5) qui « n'est en aucun cas imitation des phénomènes » (*Ibid.* p. 8).

Ainsi, le modèle ne peut être considéré comme une simple copie du réel (Larochelle & Désautels, 1992) : il ne représente pas la réalité, mais uniquement certaines des propriétés de celle-ci, ce qui rejoint les propos de Halbwachs (1974) ou encore de Sensevy et Santini (2006), qui expliquent que les sciences produisent des modèles explicatifs d'un monde reconstruit dans un cadre expérimental, et non du monde tel qu'il est. Les fonctions du modèle sont d'ailleurs souvent envisagées, d'une manière plus philosophique, dans son rapport à la compréhension de la réalité (Christophilis & Kousathana, 2005; Giere, 1992, 1994). De son côté, Drouin (1988) généralise en affirmant que le modèle (objet concret, représentation imagée ou système d'équations, etc.) se substitue au réel jugé trop complexe ou inaccessible à l'expérience. Alors, ce dernier peut être compris par un intermédiaire plus accessible à la connaissance. En outre, ce substitut a parfois pour fonction non pas d'expliquer un processus, mais d'en calculer les variations, de faire des prévisions alors même que le réel étudié garde son statut inaccessible. En effet, comme l'indique Halbwachs (1974), « aucune science ne se propose la connaissance du "monde réel" dans son

ensemble » (*Ibid.* p.39). Chaque science réalise une sélection de certaines parties de la réalité pour en proposer une explication à partir d'abstractions spécifiques. C'est ainsi que la physique va étudier une situation physique du monde réel. Alors,

[à] toute situation physique du « monde réel », il correspondra dans la « science physique » constituée de notre Bibliothèque, un ou plusieurs systèmes de signes consistant dans des figures, des graphiques, des symboles mathématiques ou plus simplement des propositions formées avec des mots, systèmes qui seront alors censés représenter la situation. À un tel système de signes, nous donnerons le nom de modèle et nous poserons la définition : connaître une situation, c'est la représenter par un modèle. (Halbwachs, 1974, pp. 39-40)

Un modèle possède donc une fonction principale de représentation. Dans le même sens, Fourez (2009) considère que « [l]es constructions matérialisées en mots écrits ou parlés, ou en images mentales, en schémas, etc. [...] visent à fournir des représentations capables de tenir la place d'une "réalité" considérée comme plus complexe » (p. 36).

Les modèles ne sont donc que des approximations d'une réalité qui existe indépendamment de l'observateur (Riopel, 2005) et vers laquelle tendent les modèles scientifiques sans jamais en donner une représentation exacte. Le fait de considérer les modèles comme la réalité relève plutôt d'un réalisme naïf (*Ibid.*). Cet affrontement entre modèle et réalité correspond à un conflit entre la science facteur de vérité révélée et la science facteur d'invention d'un modèle (Laugier & Dumont, 2003; Poussielgue, 2006). Dans cette optique, S. Bachelard (1979) précise que :

[l]e modèle n'est jamais un objet pris pour soi. Il est toujours relationnel : modèle pour, modèle de, il renvoie à autre chose que lui-même. Le modèle n'est rien d'autre que sa fonction; et sa fonction est une fonction de délégation. Le modèle est un intermédiaire à qui nous déléguons la fonction de connaissance. (p. 3)

Les modèles sont donc des construits de l'esprit (Barry, 2010), des instruments de pensée ayant « une visée descriptive, explicative et prédictive des phénomènes

complexes » (Lebeaume, 2010, p. 30). Ils sont des outils intellectuels puissants et féconds utilisés en fonction des besoins de la situation étudiée, mais qui doivent être abandonnés au-delà de leur limite de validité (Astolfi, Peterfalvi & Vérin, 2006).

Pour sa part, Martinand (1994c) précise comment le modèle est utilisé dans son rapport avec le réel qu'il appelle le référent empirique. Dans le domaine des sciences expérimentales, le référent empirique est constitué 1) d'objets et de phénomènes, ou encore d'actions sur les objets et d'interventions sur les phénomènes, 2) de descriptions, de règles d'actions et de savoirs disponibles que Martinand (2010) nomme le « déjà-là » (p. 7) et qui sont issus de constructions conceptuelles antérieures (*Ibid.*). Le registre du référent empirique permet aux élèves de se construire un champ de familiarisation empirique : « Cela signifie que le registre empirique peut accueillir des éléments très élaborés et déjà construits » (Lhoste, 2008, p. 7). De plus, selon Puren (1999), « [l]e modèle correspond à la représentation qu'on se donne de la réalité de manière à pouvoir agir sur elle : il est à la fois un outil d'appréhension de la réalité et schéma organisateur de l'action » (p. 32).

Le modèle est donc un objet de substitution « permettant de travailler sur autre chose que le réel, qui pourtant figurera le réel, parce qu'il en reproduira certaines relations pertinentes » (Drouin, 1988, p. 11), un objet transformable et manipulable « plus facile à "manier" que la réalité, mais qui pour en rendre compte correctement doit être confronté sans cesse avec elle » (*Ibid.*).

Un modèle est ainsi construit dans un but de compréhension, mais aussi dans un but d'action. Autrement dit, le modèle est un objet idéal – dans le sens où il concerne l'idée et non à la réalité - médiateur de la pensée. Il traduit aussi « l'acte mental par lequel l'esprit s'applique à un objet de connaissance » (Pacherie, 2006, p. 636). Il est de ce fait porteur d'une intentionnalité qui vise le réel. En tant qu'objet théorique, il fournit ainsi un lien entre la théorie et l'expérience (Portides, 2007).

Pour notre recherche, et parce qu'elle semble tout à fait pertinente sur le plan scolaire, nous retenons la définition de Halbwachs (1974), où le modèle permet de connaître une situation en la représentant à l'aide de différents signes tels que des figures, des graphiques, des formules mathématiques ou bien des propositions, formées par des mots. Nous référons par ailleurs aux attributs des modèles définis par Martinand (2010) pour qui ces objets sont hypothétiques, modifiables et contextuels. Ces éléments sont récapitulés dans la figure suivante :

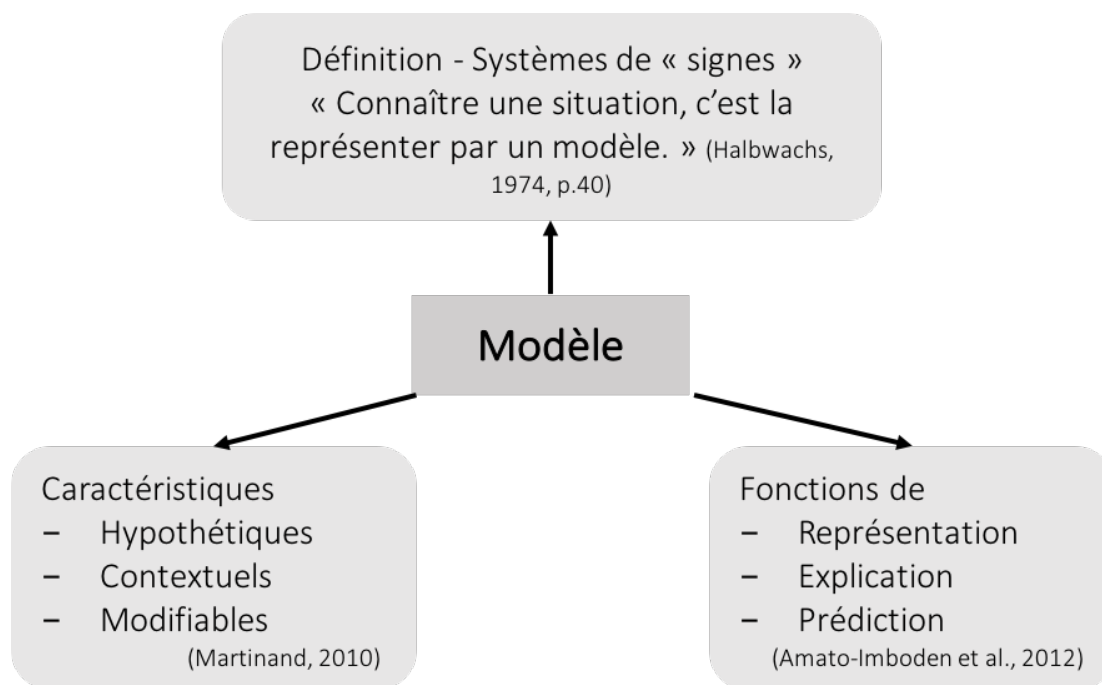


Figure 2.2 : Définition du modèle

2.3.2 Distinction entre concept, modèle, loi et théorie

Comme nous l'avons vu précédemment, le modèle se situe à la frontière d'un champ empirique de référence – celui des objets et des phénomènes – et d'un champ théorique – celui des concepts, lois et théories. Le modèle entretient donc des relations étroites avec les concepts, les lois et théories tout en se distinguant d'eux. Cependant, les différents termes peuvent être utilisés sans véritable distinction

(Drouin, 1988). Ainsi, le terme de loi répond à des significations différentes selon qu'il est pris dans son acceptation commune ou bien dans son acceptation scientifique. Dans le registre des sciences, une loi correspond donc à un énoncé théorique, présenté sous forme quantitative (mathématique) ou sous forme qualitative (Willett, 1996). En exemple, nous pouvons considérer les lois mendéliennes relatives à l'hérédité. L'une de ces lois, intitulée *loi de l'assortiment indépendant des caractères*, peut s'énoncer comme suit : « chacune des paires d'allèles se sépare indépendamment des autres paires au moment de la formation des gamètes » (Reece et coll., 2011, p. 305). Cette loi concerne les croisements dihybrides. Mendel a ainsi exprimé, de manière qualitative, une loi permettant de décrire le résultat de l'hybridation de deux variétés de pois différents par deux caractères : la couleur des graines (jaune ou vert) et leur forme (lisses ou ridées).

Par ailleurs, des références à la philosophie et à l'épistémologie permettent de définir ce qu'est un concept. Ainsi, Kant (1886) attribue au terme concept son sens moderne en l'opposant aux intuitions, qui ont leur origine dans la faculté sensible, alors que les concepts naissent de la compréhension. Kant (*Ibid.*) affirme par ailleurs que nous pensons grâce aux concepts. Ceci en fait des objets abstraits, qui désignent l'acte de penser (Rey, 1979). Dans cette lignée, et dans le contexte des sciences, Robardet et Guillaud (1997) définissent un concept comme « un "objet" conçu par l'esprit ou acquis par lui, permettant d'organiser les perceptions ou les connaissances » (p. 109). Les auteurs (*Ibid.*) prennent en exemple la force, en physique : une force n'est pas un objet matériel et n'existe pas dans la nature. Elle ne fait donc pas partie du champ empirique, mais plutôt du champ formel ou théorique. « Si vous trouvez une force, ramenez-la-moi et peignez-la en vert », écrivent Lemeignan et Weil-Barais (cités dans Robardet et Guillaud, 1997, p. 109). Ainsi, une force est une image mentale construite par l'esprit afin de pouvoir « expliquer et agir sur des phénomènes de la réalité sensible comme le mouvement, le repos, la déformation, etc. » (*Ibid.* p. 110) : la force est un concept de physique.

Les concepts et les lois sont donc les éléments fondamentaux au sein d'une théorie (Barreau, 2006; Willett, 1996). Un modèle, quant à lui, serait composé de concepts reliés les uns aux autres par des relations axiomatiques, des principes, des règles, des théorèmes ou des lois (Robardet et Guillaud, 1997). Ainsi, le modèle de Mendel, qui explique la proportion de trois contre un dans le schéma de l'hérédité, est décrit par quatre lois, dont la loi mendélienne de la ségrégation. La théorie, pour sa part, renvoie plutôt à une organisation logique de principes et de lois établis par l'expérience et qui sont bien souvent exprimés dans un langage mathématique (Barreau, 2006). Quant à Willett (1996), il définit une théorie comme un ensemble de concepts et d'explications qui sert à « définir, décrire, comprendre, expliquer, représenter et prédire un phénomène particulier et un ensemble de relations propres à ce phénomène suite à la vérification d'un certain nombre d'hypothèses » (p. 6). Cette définition converge avec celle donnée à la notion de modèle. Ainsi, il n'apparaît pas toujours de frontières claires entre théorie et modèle. Ils appartiennent tous deux au champ théorique, celui des objets créés par l'activité mentale. Ils possèdent tous deux un pouvoir explicatif, un pouvoir prédictif ainsi qu'un pouvoir unificateur et simplificateur. Cependant, contrairement aux théories, les modèles font référence à une gamme plus restreinte de situations. Ils n'interviennent que sur un nombre limité de phénomènes (Lapointe, 2010; Willett, 1996). Selon Willet (1996), « le modèle apparaît donc comme une partie concrète de la théorie qui est directement en rapport avec un ensemble de comportements » (p. 8). La figure ci-après (Robardet et Guillaud, 1997) permet de clarifier les relations entre le modèle et la théorie et d'explicitier les relations que tous deux entretiennent avec le champ empirique. Il illustre en même temps les caractéristiques de la démarche scientifique.

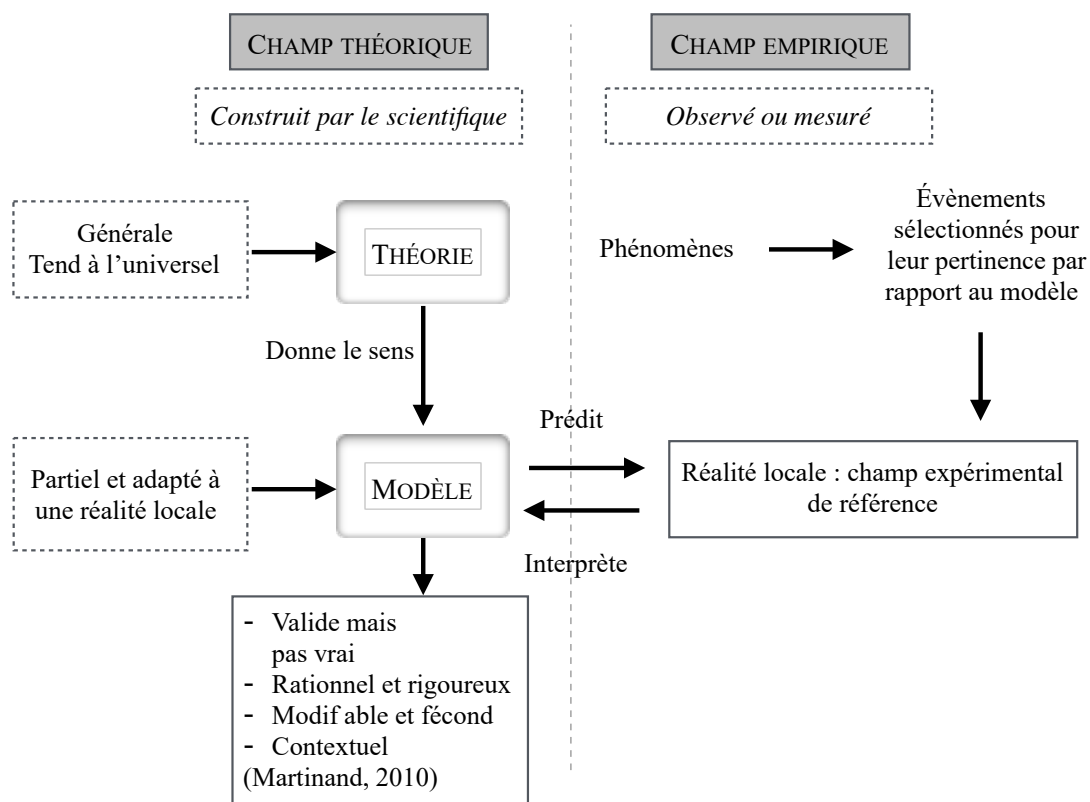


Figure 2.3 : Relations entre champ théorique et champ empirique, entre modèle et théorie, inspiré de Robardet & Guillaud 1997

Le modèle n'est donc pas une théorie, mais il est développé dans le prolongement de celle-ci. Il est une représentation simplifiée partielle et adaptée à une réalité locale, alors que la théorie tend au général et à l'universel. En somme, un modèle facilite l'explication et la vulgarisation d'une théorie donnée, en offrant une manière relativement simple et économique d'expliquer un savoir qui, sans cela, demeurerait complexe et ambigu (Willett, 1996). Ces caractéristiques justifient l'importance des modèles dans l'enseignement et l'apprentissage de S&T, et l'intérêt que nous y portons dans ce travail de recherche.

Construit de l'esprit, « aucun modèle n'est donc neutre, intellectuellement » (Orange, 1994, p. 30). Dans cette perspective, la construction du modèle correspond à une

phase « d'élaboration représentative » (Martinand, 2010) que Laugier et Dumont (2003) qualifient d'élaboration modélisante. Ces différentes terminologies permettent de distinguer une démarche de modélisation simpliste qui ne ferait qu'utiliser des modèles déjà existants, d'une démarche de modélisation plus élaborée offrant la possibilité aux élèves de construire leurs propres modèles.

2.3.3 Démarche de modélisation

La démarche de modélisation, au même titre que les modèles, est présentée comme l'un des aspects fondamentaux des sciences et de l'activité scientifique (Schwarz & White, 2005). Elle peut cependant être entrevue de diverses manières. Drouin (1988) introduit une différence entre méthodes des modèles et modélisation : « La modélisation est la démarche de **construction** d'un modèle, ou d'appropriation d'un modèle déjà construit, tandis que la méthode des modèles est centrée sur l'utilisation du modèle, c'est-à-dire sur les diverses fonctions qu'il peut remplir » (p. 9).

Ainsi, l'élève, en cours de S&T, peut être amené à utiliser et choisir différents modèles, ou bien à construire ses propres modèles (Brickhouse, 1990). Selon Larcher (1996), « la modélisation est une démarche qui consiste à élaborer en référence à un réel complexe, une construction mentale nouvelle, manipulable en vue d'assurer une fonction explicite » (p. 162). En ce sens, la démarche de modélisation est une étape incontournable dans le processus de construction et d'utilisation des connaissances scientifiques. De leur côté, Robardet et Guillaud (1997) affirment que la démarche de modélisation, lorsqu'elle est conçue comme un processus dynamique de déduction-prévision-confirmation-induction, « fait du modèle un instrument partiel d'explication d'une réalité locale » (p. 116). C'est ainsi que par une démarche de modélisation cyclique, le modèle peut être remis en cause et modifié.

Pour signifier cette récurrence des démarches de modélisation, Halbwachs (1974) introduit la notion de modèles emboîtés : le modèle étant une représentation et non

une description d'une situation réelle, il présente une certaine conformité dans un domaine déterminé et limité, au-delà duquel il perd son pouvoir explicatif. Il est alors nécessaire d'imaginer un modèle supérieur, valable pour un champ plus large qui emboîtera par conséquent le modèle précédent. Ce dernier n'est pas rejeté en bloc. Il conserve sa signification et sa validité envers la situation pour laquelle il a été pensé. Dans cette conception réaliste, le modèle révèle alors tout son intérêt : « sa simplicité, son économie et son grand pouvoir explicatif en référence à un champ expérimental aussi vaste que possible » (Robardet & Guillaud, 1997, p. 116). Le processus de modélisation doit donc être perçu « comme une boucle pouvant être répétée autant que nécessaire » (Barry, 2010, p. 60). Dans cette perspective, et pour établir une nette distinction entre la démarche de modélisation et la modélisation ne se rapportant qu'à la simple utilisation d'un modèle, certains auteurs adoptent la terminologie « élaboration modélisante » (Laugier et Dumont, 2003, p. 73). Cette élaboration traduit une élévation conceptuelle à partir du référent empirique (phénomènes expliqués par le modèle et dont il rend compte), jusqu'à la construction de modèles (ou concepts). La mise en application des modèles ainsi construits permet de décrire des phénomènes ou d'en prévoir et simuler d'autres en cohérence avec le caractère prédictif du modèle.

Cette élaboration modélisante est relative à la construction d'une représentation de la situation étudiée correspondant au réel. La représentation est entièrement construite et située dans le domaine théorique (Laugier et Dumont, 2003). La conclusion du processus de modélisation ne doit pas négliger une réflexion critique des résultats obtenus en indiquant les limites du modèle et en proposant des améliorations de celui-ci, puisque la démarche de modélisation « concerne des modèles en construction, en transformation, en utilisation et en épreuve » (Martinand, 1994, p. 118). Drouin (1988) envisage pour sa part une démarche de modélisation qui évoluerait des représentations spontanées qu'elles nomment « modèles tâtonnants »

(p. 18) vers des modèles cohérents et localement efficaces, mais différents de véritables modèles scientifiques.

Parallèlement, plusieurs auteurs (Halloun, 2007; Hestenes, 1987; Johsua et Dupin, 1993; Schwarz et White, 2005) voient la démarche de modélisation comme une possibilité d'appropriation par l'élève de connaissances scientifiques. Schwarz et White (2005) vont plus loin en insistant sur la nécessité de faire acquérir aux élèves ce qu'ils appellent « *metamodeling knowledge* », c'est-à-dire une connaissance qui ne soit pas uniquement une connaissance de certains modèles, mais qui se rapporte à la nature et la fonction de ceux-ci. Le développement d'une telle connaissance permet de développer les connaissances scientifiques et la maîtrise des démarches d'investigation auxquelles le PFEQ (MELS, 2007) fait largement référence comme étant centrales en enseignement de S&T. Cette connaissance métamodélisante¹⁰ est acquise par la mise en place d'un enseignement basé sur la nature des modèles scientifiques, par des élèves qui s'engagent réellement dans un processus de modélisation. Les élèves doivent pouvoir tester leurs propres théories, les évaluer, les modifier. Ils sont alors confrontés à leurs conceptions personnelles pouvant faire obstacle à l'apprentissage. Dans ce contexte, le modèle et la démarche qui lui est inhérente fournissent « un cadre conceptuel explicite, structuré par des relations internes et donc "calculable", construit en liaison avec une ou plusieurs situations-problèmes et en vue de progresser dans leurs solutions » (Johsua et Dupin, 1993, p. 326).

Canal (1988) avance que plus l'élève est jeune et plus il adoptera un modèle concret, proche de son environnement immédiat. L'évolution des structures cognitives de l'enfant lui permet d'évoluer progressivement d'un stade où seules les opérations concrètes sont envisageables vers un stade où il peut avoir recours à des opérations

¹⁰ Traduction libre.

formelles qui autorisent les raisonnements hypothético-déductifs et les relations abstraites (Piaget, 1947, 2005). À ce stade des opérations formelles, l'élève pourra adopter un modèle de plus en plus abstrait (Canal, 1988). Lorsque ses facultés cognitives auront atteint la maturité nécessaire, il pourra « se contenter de la théorie même comme modèle, aucune représentation concrète ou rapprochement n'étant possible » (*Ibid.* p. 88). Ce stade où l'enfant peut recourir à une logique abstraite est généralement maîtrisé vers l'âge de 15 ans, ce qui justifie l'intérêt que nous portons à la démarche de modélisation au secondaire, et plus particulièrement au 2^{ème} cycle. En enseignement et apprentissage de S&T, où la conciliation abstrait/concret est très présente, la démarche de modélisation serait donc un outil permettant de résoudre les problèmes auxquels l'élève est confronté. C'est d'ailleurs cette visée que l'on retrouve dans le PFEQ (MELS, 2007).

2.4 Modèles et démarches dans le PFEQ

Après avoir exploré la notion de démarche de modélisation, il importe de regarder plus attentivement la manière dont celle-ci est présentée dans le programme de formation de l'école québécoise et la façon dont elle peut être abordée dans l'enseignement de S&T.

Tout d'abord, comme nous l'avons déjà évoqué, la démarche de modélisation est interpellée à travers les compétences 1, 2 et 3 du PFEQ de S&T (MELS, 2007), et ce de manière explicite en 4^e secondaire. La compétence 1, « chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique » (p. 268), met l'accent sur la résolution de problème, d'une part, et d'autre part sur la construction nécessaire de représentations dont l'élaboration nécessite de solides connaissances scientifiques. « Le fait de chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique implique de recourir aux modes de raisonnement et aux démarches méthodologiques propres à la science et à la

technologie » (*Ibid.* p. 275). L'approche par problème permet en plus de donner du sens à l'enseignement scientifique reconnu comme abstrait (Robardet, 1999). Dans cette optique, la démarche de modélisation serait un outil permettant de résoudre les problèmes auxquels l'élève est confronté. Le PFEQ de S&T (MELS, 2007) propose d'ailleurs de développer les activités des élèves dans cette perspective de résolution de situations-problèmes. La démarche de modélisation trouve donc logiquement sa place dans la compétence 1. Son intérêt pour l'enseignement réside aussi dans le fait qu'elle est évolutive.

La compétence 2, quant à elle, indique clairement que les démarches empiriques d'observation et de modélisation doivent être utilisées dans le but de comprendre et d'expliquer un phénomène à partir de lois et de modèles de concepts et de théories, et de s'en donner une représentation qualitative ou quantitative. La fonction prédictive éventuelle des modèles y est aussi envisagée. « Constituée d'un ensemble de théories, de connaissances, d'observations et de démarches, elle [la science] se caractérise notamment par la recherche de modèles intelligibles, les plus simples possible, pour rendre compte de la complexité du monde (MELS, 2007, p. 1).

La compétence 3 met l'accent sur les langages en S&T. Ces langages vont au-delà de la communication verbale. Ils traduisent la faculté pour les humains d'exprimer et de communiquer leurs pensées entre eux au moyen de signes conventionnels (TLFi, 2012). Les langages se concrétisent ainsi dans des systèmes de signes verbaux, graphiques ou symboliques, ce qui rejoint les modes d'expression utilisés en S&T et qui font appel aux dessins, aux schémas, aux courbes, ou encore au langage mathématique. Ces éléments sont en complète cohérence avec notre définition de modèle. La compétence 3 permet ainsi d'exploiter pleinement les modèles et démarches de modélisation.

Dans ce contexte, la démarche de modélisation est vue comme un outil conceptuel qui « consiste à construire une représentation destinée à concrétiser une situation

abstraite, difficilement accessible ou carrément invisible » (*Ibid.* p. 25) permettant de faciliter la compréhension de la réalité. L'aspect évolutif, et donc le caractère transitoire des modèles, n'est pas négligé puisque ceux-ci sont appelés à être modifiés ou rejetés. Les fonctions prédictives de ces outils conceptuels sont aussi soulignées, tout ceci étant décrit selon une vision socioconstructiviste de l'enseignement et de l'apprentissage dans laquelle l'élève s'engage activement, aidé par l'enseignant qui le soutient et l'accompagne. La position épistémologique de ce dernier est ainsi cruciale.

2.5 Point de vue épistémologique sur le modèle et la démarche de modélisation en enseignement des S&T

Nous avons vu qu'il est très difficile de donner une définition précise et unanime de ce qu'est un modèle en raison de la disparité des points de vue. En effet, « la conception de ce qu'est un modèle dépend sans doute étroitement d'un système d'idées relatif à ce que sont la science et l'activité scientifique même » (Sensevy et Santini, 2006, p. 164). Le rôle que joue le modèle dans la théorie à laquelle il est intégré va donc dépendre du positionnement épistémologique de chacun.

D'un point de vue épistémologique, comme nous l'avons envisagé dans le chapitre précédent, les enseignants, bien qu'ayant une vision réaliste de la science, auraient tendance à avoir recours à un raisonnement de type déductif, tout en donnant une prépondérance au fait singulier, voire prototypique et en ayant parfois recours à quelques données expérimentales qui conduisent à une généralisation. Dans l'enseignement de S&T, le rôle de l'expérimentation et celui de l'observation occupent une place importante pour induire des lois à partir de quelques cas particuliers (Popelard & Vernant, 1997). Par ailleurs, l'utilisation des modèles se fait souvent selon un réalisme naïf (Désautels & Larochelle, 1989) avec une certaine tendance à présenter aux élèves le modèle comme la réalité elle-même (Begin, 1997). Rarement, les modèles sont abordés comme des objets théoriques construits, se

substituant à la réalité pour permettre de la comprendre, de l'expliquer et de faire des prédictions sur les phénomènes envisagés (Lebeaume, 2010).

Reprenons l'exemple de l'étude du comportement d'un conducteur ohmique traversé par un courant. Dans ce contexte d'apprentissage, la généralisation se fait bien souvent à partir de quelques mesures pour induire la loi d'Ohm $U = R \times I$, liant les trois grandeurs U , R , et I . Cependant, nous l'avons déjà évoqué, il est très difficile pour les élèves de faire des liens entre le cours de mathématiques et le cours de S&T (Samson, 2007). Ceux-ci n'arrivent pas pour la plupart du temps à « voir »¹¹ une droite dans un ensemble de points à peu près alignés qui correspondent à des mesures expérimentales. Ils ont encore plus de difficulté à calculer le coefficient directeur puisque le changement de repère $y = f(x)$ vers $U = f(I)$ représente un obstacle. Dans ce contexte, les rôles « expliquer » et « prédire » des modèles sont bien souvent évacués.

Pourtant, le PFEQ (MELS, 2007) se situe dans une optique constructiviste de l'enseignement de S&T, où l'élève actif dans ses apprentissages est confronté à différentes démarches, dont la démarche de modélisation. Le courant constructiviste met l'accent sur le caractère construit des connaissances. En ce sens, les sciences et les démarches qui leur sont associées ne révèlent pas une réalité indépendante de l'observateur. Elles permettent plutôt de construire « une réalité possible à partir d'expériences cognitives successives » (Riopel, 2005, p. 18). La réalité, si elle existe, ne peut être fidèlement reproduite par le savoir, ce que Larochelle et Désautels (1992) expliquent par l'analogie de la clé :

Le savoir convient à la réalité comme une clé convient à une serrure. La convenance s'applique à la clé, non à la serrure. Autrement dit, je peux décrire la clé sans être en mesure de décrire la serrure. [...] Comme la clé ne reproduit pas la serrure, le savoir ne reproduit pas non plus la réalité. (pp. 27-28)

¹¹ Pour reprendre une célèbre formule d'Auguste Comte « voir pour prévoir ».

Le savoir permet donc de donner une explication de la réalité qui nous entoure. Dans ce courant, le modèle en tant qu'objet de substitution permettant de « définir, décrire, comprendre, expliquer, représenter et prédire un phénomène particulier » (Willett, 1996, p. 6) joue un rôle fondamental. Il autorise une représentation d'une réalité abstraite et non une reproduction de cette réalité. Dans ce contexte constructiviste, où l'élève est amené à construire ses connaissances, un enseignant insistera sur la nature arbitraire et subjective des modèles (Riopel, 2005). Le rôle de l'expérimentation n'est alors pas d'induire une loi, mais de vérifier la cohérence interne des théories envisagées. L'élève est confronté à des situations où il doit construire ses propres modèles ou comprendre et maîtriser des modèles reconnus par la communauté scientifique (*Ibid.*).

Le PFEQ (MELS, 2007) propose d'utiliser certaines démarches dans l'enseignement de S&T, notamment la démarche de modélisation, dans une vision plutôt constructiviste des apprentissages. Par contre, il n'indique pas aux enseignants « comment faire » et comment mettre en place un enseignement qui ne soit pas basé uniquement sur l'acquisition de connaissances, mais qui intègre de telles démarches. Pour ce faire, l'enseignant de science doit déployer différentes pratiques d'enseignement au travers des situations d'apprentissage qu'il planifie. Il semble donc fondamental de définir précisément les différents concepts relatifs aux pratiques d'enseignement et situations d'apprentissage afin d'éclairer le choix qui permet d'exprimer précisément les questions et objectifs de recherche, ainsi que l'orientation de l'action lors de la collecte de données.

2.6 Des pratiques enseignantes aux pratiques d'enseignement

Comme nous l'avons évoqué dans la problématique, les orientations du renouveau pédagogique, proposées dans le PFEQ, entraînent des modifications importantes des contenus curriculaires, mais aussi des pratiques usuelles des enseignants (Larivée,

Larose & Terrisse, 2005) qui sont devenues un sujet d'intérêt décisif au sein des systèmes éducatifs. Le Comité-conseil sur les programmes d'études (MELS, 2007) affirme que « le renouvellement de la pratique enseignante est l'un des enjeux majeurs du nouveau pédagogique » (p. 3). De ce point de vue, améliorer les manières d'enseigner reste un grand défi, selon le Conseil de la science et de la technologie (Santerre, 2003).

De nombreux travaux se sont penchés sur la notion de pratique enseignante. Il en ressort plusieurs points de vue parfois complémentaires. Dès 1994, Altet définit la notion de pratique enseignante comme « un processus interactif, interpersonnel et intentionnel qui utilise les interactions verbales et non verbales pour atteindre un objectif d'apprentissage » (p. 125). Puis, Vinatier et Altet précisent que les pratiques enseignantes sont des pratiques sociales se traduisant « par la mise en œuvre des actions, des savoirs, procédés et compétences en actes d'une personne en situation professionnelle » (p. 8). Les actes peuvent être à la fois contraints (normes du groupe, textes officiels, etc.) ou choisis. Il existe donc une double dimension de la notion de pratique : « d'un côté, les gestes, les conduites, les langages; de l'autre, à travers les règles, ce sont les objectifs, les stratégies, les idéologies qui sont invoqués » (Beillerot, 2006, p. 1). Les pratiques enseignantes incluent donc des pratiques d'enseignement dont la finalité est l'apprentissage des élèves, ainsi que d'autres pratiques effectuées en l'absence d'élèves, en dehors du temps scolaire, comme les rencontres au sein des équipes-cycles ou encore les rencontres entre enseignants (Bru & Maurice, 2001; Deaudelin et coll. 2007). Ce sont davantage les pratiques d'enseignement qui retiennent notre attention dans le cadre de cette recherche. Ainsi, selon (Deaudelin et coll., 2005) :

[l]a pratique d'enseignement, elle, se déroule durant le temps scolaire, principalement en classe, en présence d'élèves. Elle inclut trois phases : préactive, interactive et postactive. La phase préactive correspond à la planification que l'enseignant réalise seul ou avec des collègues. La phase interactive désigne

l'intervention auprès des élèves, alors que la phase postactive renvoie aux actions concernant l'évaluation de l'enseignement. (p. 83)

Bautier et Goigoux (2004) cernent d'ailleurs des caractéristiques intéressantes vis-à-vis de ces pratiques en mettant l'accent sur la nécessaire construction sociale du savoir scolaire ce qui se traduit chez l'enseignant par :

La façon dominante d'aborder une notion, de faire appel à tel type de support et d'organisation des activités, de la façon d'interagir avec les élèves, façons elles-mêmes doublement sous-tendues par une conception de l'apprentissage et de l'aide à apporter aux élèves dans la construction des savoirs et par une construction de la relation pédagogique. (p. 97)

Ainsi, les pratiques d'enseignement recouvrent à la fois des actions, des réactions, des interactions, des transactions et des ajustements pour s'adapter à la situation professionnelle évolutive (Altet, Paquay, Charlier & Perrenoud, 2001).

Les pratiques d'enseignement relèvent d'automatismes difficilement explicables, développés avec le temps (Gervais, 2007). Aussi, il faut être conscient que l'observation d'une pratique, alors appelée pratique effective (Bressoux, 2001; Bru, 2002), ne peut donner accès qu'à une partie de la réalité. De plus, selon Fenstermacher (1987), l'agir des enseignants est fondé sur un ensemble de considérations puisées à diverses sources. C'est donc par le dialogue que les prémisses de l'action peuvent être mises en évidence et catégorisées entre actes conscients ou inconscients (*Ibid.*). Il est possible de faire s'exprimer les enseignants sur leur pratique afin de faire surgir les valeurs et intentions qui orientent les choix des actions, d'appréhender les savoirs théoriques acquis et les savoirs empiriques construits au cours de l'expérience avec les élèves et de comprendre le contexte qui permet d'adapter les choix ou les décisions d'agir (Gervais, 2007). Cette explication d'une pratique par celui qui en est l'auteur est nommée pratique déclarée (Bru, 2002), mais elle ne nous livre qu'une portion de la pratique de l'enseignant : les pratiques d'enseignement, en grande partie, restent difficilement accessibles (Gervais, 2007).

Selon Goyer (2007), « les pratiques déclarées et les pratiques effectives diffèrent. Leur analyse doit permettre de dessiner la réalité de la pratique professionnelle » (p. 55). Sensevy (2011d) propose alors d'aborder l'étude des pratiques d'enseignement sous l'angle de la posture grammaticale, qui a trait à la grammaire, c'est-à-dire aux règles mises en jeu. Dans cette perspective, comprendre une pratique revient à expliquer le sens des actions, des gestes posés dans le contexte au sein duquel ils sont posés (Sensevy, 2011d), l'action de l'enseignant ne prenant tout son sens qu'*in situ*. Saisir le contexte se révèle ainsi fondamental. Cette posture peut être intéressante pour accéder aux pratiques d'enseignement. Dans ce contexte didactique, Sensevy (2011) met l'accent sur l'importance, lorsque l'on aborde les pratiques d'enseignement, de partager un cadre de référence permettant de se comprendre, mais aussi de tenir compte du sens que les acteurs eux-mêmes donnent à leurs actions.

Nous retenons pour cette recherche l'importance de prendre en considération les pratiques déclarées et effectives de l'enseignant. Plus particulièrement, nous nous centrons sur des situations d'apprentissage mettant en œuvre des modèles et des démarches de modélisation afin de saisir l'action de l'enseignant au sein de ces pratiques (Sensevy, 2011d) analysées.

2.7 Situation d'apprentissage

Selon Faerber (2004), « une situation d'apprentissage est un ensemble de conditions et de circonstances susceptibles d'amener une personne à construire des connaissances » (p. 4). Dans le cadre scolaire, c'est l'enseignant qui construit les situations d'apprentissage qu'il veut faire vivre aux élèves. L'expression « situation d'apprentissage » renvoie ainsi aux conditions mises en œuvre qui permettent et favorisent l'apprentissage. L'idée de construction implique la notion de planification (Legendre, 2005) et la situation d'apprentissage est alors vue comme un dispositif que l'enseignant met en place pour favoriser l'apprentissage des élèves. Cette notion

de dispositif réfère à un ensemble de décisions et de mesures planifiées, prises pour atteindre un objectif. Dans cette recherche, il s'agit bien d'analyser les pratiques d'enseignement. Ces pratiques peuvent être déclarées si elles sont évoquées ou racontées par les enseignants. Elles peuvent être effectives lors de l'observation, par la chercheuse, en classe de situations d'apprentissage où les enseignants utilisent des modèles ou font appel à des démarches de modélisation. La figure ci-dessous illustre les notions de pratiques d'enseignement et de situations d'apprentissage. La situation d'apprentissage peut être vue comme le scénario que construit l'enseignant pour favoriser l'apprentissage chez ses élèves, tandis que la pratique enseignante correspond à la mise en scène de ce scénario, en salle de classe.

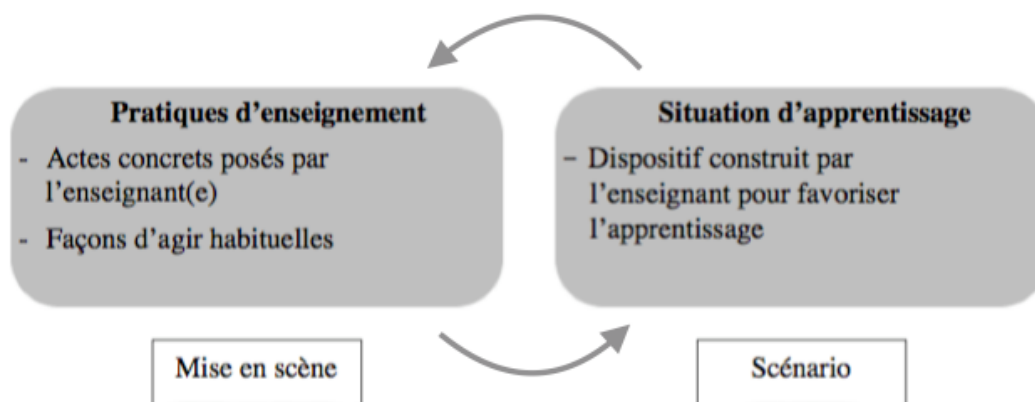


Figure 2.4 : Pratiques d'enseignement et situation d'apprentissage

Il est donc intéressant d'observer ce qui est construit et réalisé par les enseignants afin de comprendre comment cette démarche est appréhendée ou exploitée. Nous cherchons notamment à examiner comment elle peut favoriser l'articulation du concret et de l'abstrait en S&T. À cette fin, nous identifions les stratégies que les enseignants mettent en œuvre au regard des modèles et de la démarche de modélisation.

2.8 Stratégies d'enseignement

Une recension des écrits scientifiques a permis de prendre conscience du fait que le terme stratégie est largement utilisé dans les articles relevant du champ de l'éducation. Cependant, il est rarement défini dans le contexte d'utilisation. Les stratégies semblent ainsi faire partie intégrante des pratiques d'enseignement, mais il est difficile d'en trouver une définition précise. Certains auteurs utilisent même les deux termes sans véritable distinction. Une clarification conceptuelle apparaît donc nécessaire.

En langage commun, une stratégie est définie comme « l'art de coordonner des actions, de manœuvrer habilement pour atteindre un but » (Larousse, 2010, p. 967). Selon un point de vue plus philosophique, Morin (1990) énonce qu'une stratégie « est l'art d'utiliser les informations qui surviennent dans l'action, de les intégrer, de formuler soudain des schémas d'action et d'être apte à rassembler le maximum de certitudes pour affronter l'incertain » (p. 178).

En cohérence avec nos préoccupations de recherche, la stratégie d'enseignement désigne plus particulièrement l'ensemble de ressources que l'éducateur planifie pour les apprenants (Legendre, 2005). Le terme stratégie renvoie donc de façon générale aux actions réalisées de manière consciente par une personne ayant un objectif clairement établi (Bressoux, 2002). Cependant, Bressoux (2002) propose d'élargir cette définition en précisant que « les "stratégies" ont à voir avec le flou, l'incertain, avec des fins non explicitement posées, où interviennent des schèmes d'action, des routines, voire des automatismes » (p. 9).

Dans cette lignée, Germain et Netten (2008) définissent les stratégies d'enseignement comme « les actes concrets posés par l'enseignant, en salle de classe, afin de créer les conditions susceptibles de contribuer à l'apprentissage de la matière enseignée » (p. 2). Ce point de vue didactique est précisé par Sensevy (2011) pour qui les straté-

gies se déploient dans le « feu de l'action » et correspondent à la mise en action d'une ou plusieurs règles stratégiques qui vont pouvoir être modifiées ou ajustées dans l'action pour donner naissance à de nouvelles règles stratégiques. Il y a dans cette définition un aspect relatif à l'improvisation qui rejoint le point de vue de Bressoux (2002) et celui de Tochon (1989) pour qui l'enseignant, devant la complexité de sa tâche d'enseignement, met en œuvre une improvisation bien planifiée. Sensevy (2011d) décrit l'action de l'enseignant comme orientée par un double système de règles et de stratégies. Dans cette optique, il relie les stratégies déployées par l'enseignant à des jeux didactiques qui se mettent en place dans la classe entre les différents agents que sont l'enseignant et les élèves. Selon lui, il y a un grand intérêt pour la recherche à voir et à décrire la pratique sous la catégorie de jeux didactiques, ce qui permet de comprendre et modéliser ces pratiques.

Les stratégies se déploient donc au sein des situations d'apprentissage comme des actes planifiés par l'enseignant pour favoriser l'apprentissage. Elles se retrouvent aussi dans les pratiques d'enseignement. Elles peuvent alors être accompagnées d'un certain flou, d'une certaine improvisation lors de la mise en action de l'enseignant.

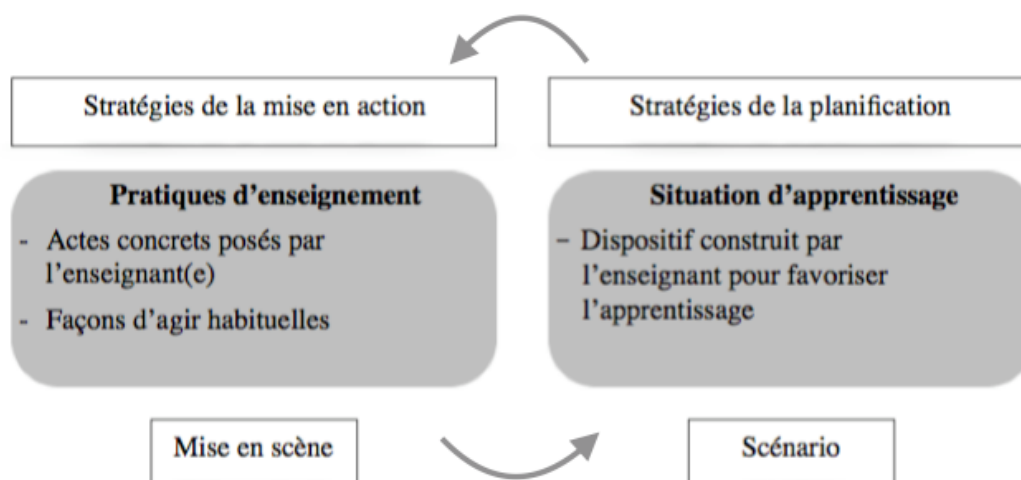


Figure 2.5 : Pratiques d'enseignement, situation d'apprentissage et stratégies

Par ailleurs, selon Sensevy (2008), dans le contexte de la classe, les stratégies déployées par l'enseignant sont orientées vers le but de gagner et de provoquer l'apprentissage. Pour gagner, il faut cependant connaître les règles du jeu (Sensevy, 2011d). Dans cette posture relative au jeu, « la caractérisation de la pratique devient alors celle-ci : reconnaître les jeux dans lesquels s'investissent les joueurs » (Sensevy, 2011d, p. 33). Dans ce contexte de jeu, les stratégies sont liées aux intentions de l'enseignant (Sensevy, 2011d). Elles sont alors définies comme des actes concrets posés par l'enseignant dans le feu de l'action. Ces actes, plus ou moins improvisés, plus ou moins conscients (Germain & Netten, 2008), ont pour objectif de favoriser l'apprentissage chez les élèves pour les aider à devenir des apprenants indépendants et stratégiques (Alberta. Ministère de l'Éducation, 2006). À cette fin, les stratégies peuvent correspondre à un geste, une parole, un scénario ou une manœuvre. Nous pouvons résumer les éléments rencontrés précédemment qui précisent le concept de stratégie dans la figure suivante :

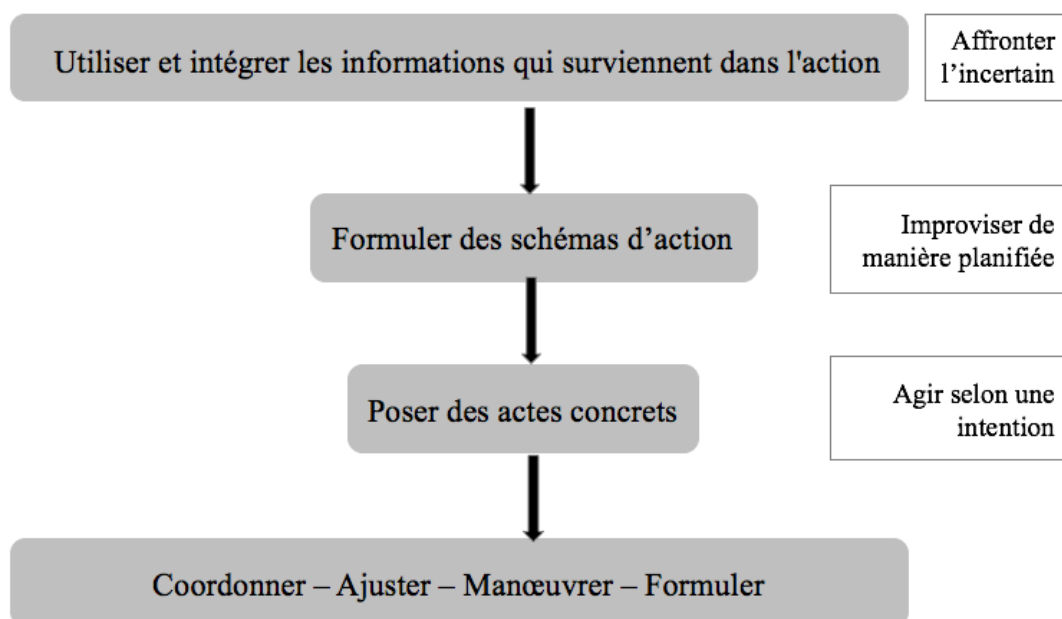


Figure 2.6 : Concept de stratégie

Selon Sensevy (2011d), expliquer le sens des actions et des gestes posés dans leur contexte permet de comprendre une pratique qui se déploie. La description des stratégies est donc un moyen pertinent pour décrire et comprendre les pratiques d'enseignement mises en œuvre afin de les analyser.

2.9 Ajustement de pratique

Dans une perspective de développement des pratiques, le changement peut être vu sous l'angle d'ajustements de pratique (Savoie-Zajc, 2004b, 2005) qui se rapportent aux adaptations que font les enseignants « pour combler l'écart entre un idéal à atteindre, dégagé d'une réflexion sur l'action, et une lecture de leur pratique » (Couture, Dionne, Savoie-Zajc & Aurousseau, 2012, p. 3). Savoie-Zajc (2005) situe le concept d'ajustement de pratique dans une vision socioconstructiviste de l'innovation pédagogique qui prend en compte la subjectivité de l'individu comme acteur social stratégique (Crozier & Friedberg, 1977). Couture et coll. (2012) précisent dans cette lignée que :

L'innovation est alors une construction personnelle par le sens que l'acteur donne à sa réalité, au sein d'une organisation professionnelle. Même planifié conjointement, l'ajustement de pratique demeure celui de l'enseignant puisque c'est lui qui en détermine le sens dans sa pratique. (p. 4)

Considérer les modifications intervenant dans les pratiques des enseignants sous l'angle du concept d'ajustements de pratique implique de prendre en compte le point de vue des praticiens (Couture, 2015) et réfère ainsi à la didactique praticienne évoquée par Martinand (1992a). Cette didactique praticienne, « centrée sur les compétences (et les coutumes) de la pratique enseignante » (Martinand, 1994a, p. 73), renvoie « aux choix d'activités, de matériel et de planification des enseignants » (Couture, 2015, p. 182). Cependant, Couture (*Ibid.*) précise que les ajustements de pratique doivent être pensés selon les trois registres didactiques suggérés par

Martinand (1992a, 1994a) : celui de la didactique praticienne précédemment évoquée; celui de la didactique normative, qui renvoie aux contenus du programme de formation et aux intentions curriculaires; celui de la didactique critique et prospective incarnée par la recherche. Dans le cadre de notre recherche, selon une perspective de construction collective, il y a donc lieu de réfléchir avec les enseignants sur ce qu'ils entreprennent déjà avec leurs élèves pour faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait afin de développer, avec eux, des ajustements de pratique mettant en œuvre des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation et d'analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.

2.10 Concepts de didactique

Dans les années 60 et dans le prolongement des travaux de psychogénétique (Piaget, 2005; Vigotski, 2013) les didacticiens des mathématiques ont mené une réflexion importante sur la construction des connaissances chez l'élève et sur leur utilisation chez l'enseignant (Brousseau, 1991). Brousseau alors étudiant en mathématiques et élève en psychologie cognitive, constate que les dispositifs expérimentaux en mathématiques sont rarement suivis d'une étude de ces dispositifs eux-mêmes et de leur rapport avec la connaissance mathématique en question (*Ibid.*). C'est ainsi que naît la théorie des situations didactiques dont l'objectif est d'étudier des situations mathématiques.

2.10.1 Théorie des situations didactiques

La théorie des situations didactiques propose un modèle qui vient soutenir l'étude de situations didactiques en mathématiques. « Une situation modélise en fait les relations et les interactions d'un ou plusieurs actants avec un milieu (un environnement) » (Brousseau, 1991, p. 12) en prenant en compte 1) des états et des changements du milieu, 2) de l'enjeu de l'action et 3) des règles qui orientent l'action.

Cette théorie (Brousseau, 1998) présente donc un cadre pour l'étude des situations d'enseignement des mathématiques, mais selon Brousseau (2002), elle se révèle être un instrument permettant d'analyser « n'importe quelle situation d'enseignement effective ou imaginée, c'est-à-dire de faire ressortir les choix du professeur et les hiérarchiser en fonction de leurs conséquences » (p. 3). De même (Bessot, 2003), postule que :

Certains concepts théoriques issus de la didactique des mathématiques ont un caractère de généralité : ils permettent dans des situations particulières de générer des questions et des résultats, qui eux, sont spécifiques d'un savoir particulier (p. 2)

Ceci rend donc possible leur application à d'autres disciplines, notamment en S&T qui nous concerne spécifiquement. À l'aide de différents concepts, la théorie des situations didactiques permet ainsi de décrire la relation didactique qui existe entre deux partenaires – l'enseignant et l'élève – et un savoir (Brousseau, 1990), au sein d'un système didactique défini comme le passage d'un état initial à un état final (Bessot, 2003).

Dans ce système didactique, l'enseignant est celui qui détient le savoir et qui possède les capacités à anticiper ce que l'élève va devoir apprendre (Bessot, 2003). Il doit agir pour contrôler l'action didactique. La mission première de l'enseignant est donc de mettre en place une situation propice à l'apprentissage de ce dernier (Chevallard, 1989). L'enseignant aménage donc pour l'élève un certain milieu favorable à l'apprentissage et orienté vers un objectif d'apprentissage qui donne tout son sens au milieu. Ce dernier correspond à un système de relations qui s'établissent entre l'enseignant, l'élève et le savoir. Cet agencement du milieu (Forest, 2008) renvoie à la mésogenèse, ou genèse du milieu (*Ibid.*), et donc au processus par lequel l'enseignant construit le milieu. La mésogenèse permet d'appréhender ce qui crée le milieu, et de comprendre comment il se crée et se transforme au fur et à mesure de l'avancée du temps didactique. C'est alors la chronogenèse qui permet d'envisager

cette genèse du temps didactique, en s'intéressant aux éléments mettant en évidence les passages successifs d'un milieu à l'autre. Finalement, la topogenèse (Chevallard, 1992; Sensevy, 2006, 2011d; Sensevy, Mercier & Schubauer-Leoni, 2000) permet de prendre en considération le partage de responsabilités épistémiques entre les transactants et dans le milieu. Ce partage est régi par une sorte de contrat négocié entre les transactants. Goujon (2014) distingue par ailleurs une topogenèse macroscopique qui concerne l'objet des transactions didactiques et s'intéresse à l'initiateur de la thématique de savoir abordé et une topogenèse microscopique qui permet d'accorder une position topogénétique haute au transactant qui modifie de façon significative le milieu et la progression des savoirs et ce, pour l'ensemble des transactants (Goujon, Boilevin, Gueudet & Sensevy, 2015). La figure suivante permet de récapituler ces différents concepts de didactique et la logique qui les unit.

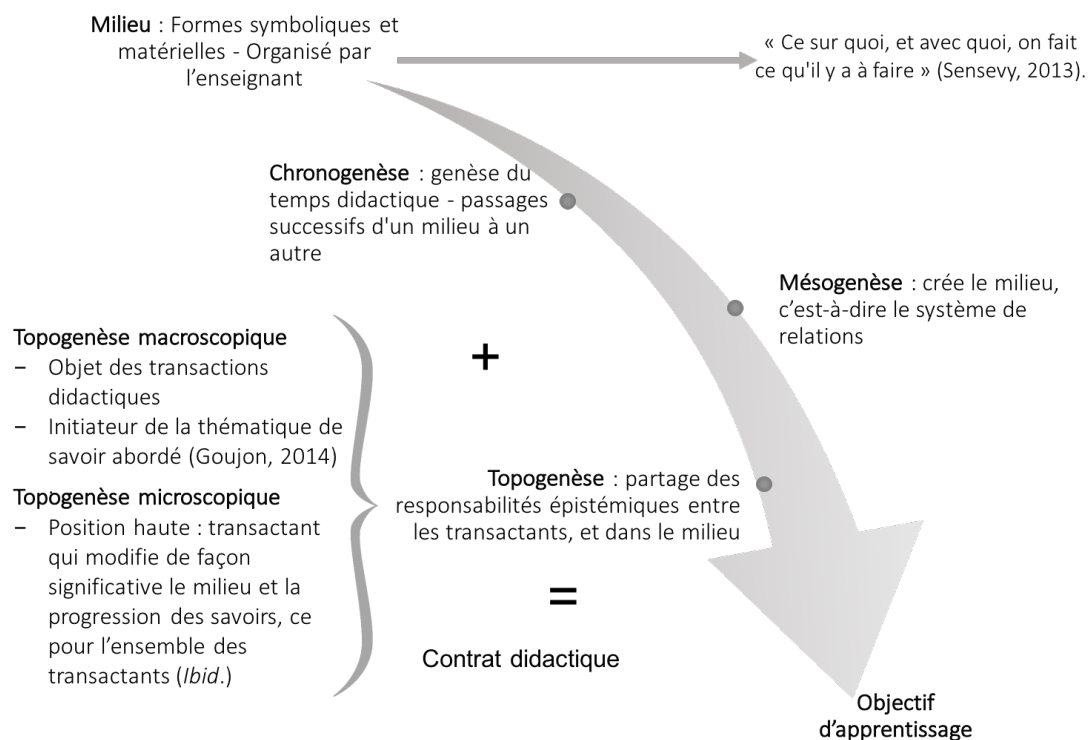


Figure 2.7 : Milieu et catégories génétiques

Dans la continuité de la théorie des situations didactiques, Sensevy (2001a, 2007, 2011d) développe la théorie de l'action conjointe en didactique qui permet de décrire l'action didactique ordinaire, de nature conjointe, en la modélisant sous forme de jeu.

2.10.2 Théorie de l'action conjointe en didactique

La théorie de l'action conjointe en didactique a pour origine l'approche comparatiste en didactique (Schubauer-Leoni & Leutenegger, 2002). L'action didactique y est définie comme une action relationnelle entre l'enseignant, ses élèves et le savoir (Sensevy, 2006). Cette action didactique est aussi transactionnelle puisqu'elle découle d'une relation centrée *sur* un objet transactionnel qui est le savoir et que dans une vision conjointe, elle s'opérationnalise *avec* les élèves et l'enseignant, au sein une situation particulière indissociable de l'action elle-même.

Afin de comprendre l'action didactique ordinaire, Sensevy et coll. (2000) proposent de déterminer les structures de cette action (*Ibid.*) en se basant sur le quadruplet du jeu (Sensevy, 2006) qui fait référence à 1) la dévolution du jeu, 2) la définition du jeu, 3) la régulation du jeu et 4) l'institutionnalisation du jeu (Brousseau, 1998).

Selon la condition de dévolution, l'élève doit prendre la responsabilité du jeu et donc de l'apprentissage (Brousseau, 1998). Dans la perspective d'analyser les pratiques d'enseignement, la question se pose alors de comprendre ce que fait l'enseignant pour engager l'élève dans le jeu d'apprentissage et pour qu'il prenne la responsabilité du travail (Forest, 2008).

La condition de définition exprime quant à elle la nécessaire participation au bon jeu d'apprentissage. Cette condition est remplie si les règles définitoires sont correctement transmises aux élèves (Sensevy, 2006). Autrement dit, il y a lieu de s'intéresser à ce que fait l'enseignant et à la manière dont il s'y prend pour s'assurer que les élèves sachent à quel jeu ils doivent jouer (Forest, 2008).

La condition de régulation du jeu concerne les éléments qui permettront aux élèves de produire des stratégies gagnantes au sein des transactions didactiques. La régulation doit répondre à la contrainte de réticence didactique qui implique une tension permanente dans la construction du savoir puisque l'enseignant ne peut pas dire ce qu'il sait, s'il veut que l'élève construise les connaissances visées, selon la clause de dévolution (Brousseau, 1998; Sensevy & Quilio, 2002). Ceci revient à cerner ce que fait l'enseignant et ce qu'il met en place pour que les élèves produisent une stratégie gagnante (Forest, 2008).

Finalement, la condition d'institutionnalisation du savoir et des connaissances produites par l'engagement dans les jeux d'apprentissage concerne le processus auquel l'enseignant recourt pour montrer « aux élèves que les connaissances qu'ils ont construites se trouvent déjà dans la culture (d'une discipline) » (Sensevy & Quilio, 2002, p. 51). C'est par ce processus qu'il les invite à se rendre responsables de la connaissance de ce nouveau savoir. Lors de l'analyse des pratiques d'enseignement, il s'agit alors de comprendre ce que fait l'enseignant pour entériner une connaissance ou un comportement.

Ainsi, ces catégories fonctionnelles (Forest, 2008) permettent d'identifier les stratégies mises en place par l'enseignant lorsqu'il agit « dans la situation pour définir, réguler, dévoluer, instituer à la fois les lieux respectifs [de l'enseignant] et des élèves (la topogenèse), les temps de l'enseignement et de l'apprentissage (chronogenèse), et les objets des milieux ainsi que l'organisation des rapports à ces objets (mesogenèse) » (Forest, 2008, p. 79).

Par ailleurs, ces différentes transactions didactiques, qui permettent la construction du savoir, ne se déroulent pas de manière continue ou linéaire, mais procèdent de manière discrète par l'intermédiaire d'unités d'ampleurs diverses qui coïncident avec l'avancée du savoir (Sensevy, 2006). Dans ce contexte, le recours à la métaphore

théâtrale permet d'identifier ces unités discrètes homogènes à la structure d'une pièce de théâtre où l'action est découpée en actes, scènes et épisodes (Sensevy, 2006, 2007, 2011d). À des fins d'analyse, le didacticien peut alors découper le jeu didactique en différentes scènes et différents épisodes qui correspondent à « une succession de moments à la fois connexes et clos sur eux-mêmes » (Sensevy, 2007, p. 26). « Les scènes didactiques se délimitent en général par une "entrée en matière" – qui annonce la nouvelle scène et la démarque de la précédente par une "conclusion" » (Sensevy, 2011d, p.134). Cette présentation précise permet ensuite de décrire les pratiques à l'aide d'un canevas et d'un synopsis de l'action (Blaser, 2009; Falardeau & Simard, 2011) dans le but de présenter et comprendre les pratiques d'enseignement.

Le chapitre suivant est consacré à la méthodologie. Il permet de décrire l'option méthodologique sous-jacente à la réalisation de cette recherche. En premier lieu, il aborde l'orientation des recherches recensées sur les modèles et la démarche de modélisation.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

Ce chapitre présente la méthodologie utilisée dans notre recherche. Dans un premier temps, un aperçu critique de la littérature scientifique relative aux recherches sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation nous permet de décrire les orientations des recherches recensées qui justifient la pertinence sociale, scientifique et méthodologique de notre propre recherche. Nous abordons ensuite les fondements de la recherche collaborative, qui est l'approche méthodologique que nous retenons en raison de notre volonté de travailler avec les enseignants afin d'étudier leurs pratiques d'enseignement relatives à la modélisation. L'opérationnalisation de la recherche est ensuite détaillée. Nous y décrivons les outils de collecte de données utilisés ainsi que l'organisation des rencontres avec les enseignants. Puis, nous abordons la présentation de la méthodologie servant à analyser les données recueillies. Ce chapitre se clôt sur le devis méthodologique de la recherche qui permet de donner une vision d'ensemble mettant en parallèle la question et les objectifs de recherche, la démarche de recherche envisagée, les outils mis en œuvre pour recueillir les données, ainsi que les éléments qui structurent l'analyse de ces données.

3.1 Orientations des recherches recensées sur les modèles et la démarche de modélisation en S&T

La construction de la problématique s'organise autour d'écrits scientifiques liés à notre sujet d'étude, relatif à l'enseignement de la démarche de modélisation au 2^{ème} cycle du secondaire, en S&T. Nous avons examiné cette littérature afin d'asseoir nos

choix méthodologiques et la pertinence scientifique de notre recherche. Ainsi, de nombreux chercheurs (Hestenes, 1987; Justi et Gilbert, 2002; Martinand, 1992, 1994) se sont penchés sur le bien-fondé de l'usage des modèles dans l'enseignement des sciences. Cependant, nous pouvons distinguer trois groupes de recherche qui, en raison de leurs activités, ont contribué de manière significative à la réflexion menée autour de l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation. Du côté des États-Unis, nous trouvons le groupe MUSE (Modeling for Understanding in Science Education), fondé au début des années 1980 par Hestenes et ses collaborateurs (Halloun & Hestenes, 1987; Hestenes, 1987; Wells, Hestenes & Swackhamer, 1995), et en France, l'équipe du LIREST/INRP (Liaisons Interuniversitaires pour la Recherche en Éducation Scientifique et Technologique) autour d'un projet adopté en 1987 par le conseil scientifique de l'INRP et intitulé *Enseignement et apprentissage de la modélisation*. Plus récemment, en 2006, le GIREP (Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique) a centralisé différents travaux réunissant environ 260 physiciens et professeurs de plus de 40 pays qui ont participé à la conférence d'Amsterdam pour partager leurs idées sur l'usage des modèles et de la modélisation dans la physique et son enseignement. Par ailleurs, au Québec, un projet de recherche intitulé « Conceptualisation et modélisation en sciences : représentations et pratiques d'enseignantes et d'enseignants du primaire et du 1^{er} cycle du secondaire » a vu le jour (Hasni, Lenoir & Larose, 2005-2008).

Parmi nos lectures, nous avons relevé un grand nombre d'études portant sur les modèles et la démarche de modélisation. Certaines études concernent le raisonnement des élèves et se basent essentiellement sur des questionnaires et des entretiens conduits avec des élèves (Chomat et coll., 1988; Chomat, Larcher & Méheut, 1992; Gauthier, 1998; Méheut, 1982; Saari & Viiri, 2003). La majorité des travaux recensés est menée selon une méthodologie quantitative, mais on remarque une petite proportion d'études qui se développent selon une posture qualitative dans une volonté d'interprétation et de compréhension en profondeur de l'investissement des élèves

dans un apprentissage lié aux modèles et à la démarche de modélisation (Cheng & Brown, 2010; Chomat et coll., 1988; Prins et coll., 2009). Par ailleurs, l'outil informatique est aussi envisagé comme support à la modélisation (Hansen, Barnett, Makinster & Keating, 2004; Keating, Barnett, Barab & Hay, 2002; Wu, Krajcik & Soloway, 2001). Ainsi, au Québec, une recherche (Riopel, Raïche, Potvin, Fournier & Nonon, 2006) présente les considérations théoriques, didactiques et technologiques qui ont conduit les auteurs à développer un environnement informatisé d'apprentissage de la modélisation scientifique destiné à des étudiants universitaires.

D'autres études portent sur les conceptions des enseignants sur les modèles et la démarche de modélisation (Henze et coll., 2007; Justi & Gilbert, 2002a, 2002b; van Driel & Verloop, 2002). Les recherches recensées ont plutôt tendance à travailler sur les enseignants afin de recueillir leurs conceptions à propos des modèles et de la modélisation essentiellement à partir de questionnaires (Aktan, 2005; Crawford & Cullin, 2004; Danusso et coll., 2010). Notons aussi la recherche de Justi et van Driel (2005), où des enseignants ont été impliqués dans des activités d'apprentissage liées à la modélisation. La volonté était en partie d'alimenter la compréhension de ce processus d'apprentissage relatif aux modèles et à la modélisation, ce qui fait écho avec nos objectifs de recherche. Au Québec, une étude exploratoire de Roy et Hasni (2014) dans le cadre du projet de recherche « Conceptualisation et modélisation en sciences : représentations et pratiques d'enseignantes et d'enseignants du primaire et du 1^{er} cycle du secondaire au Québec » aborde la manière dont les modèles et la modélisation sont envisagés par des enseignants du secondaire. Les pratiques d'enseignement sont analysées selon deux dimensions : 1) une dimension épistémologique relative aux significations des modèles et de la démarche de modélisation; 2) une dimension fonctionnelle sur les raisons qui poussent les enseignants à recourir aux modèles et démarches de modélisation. Cette étude se base sur une entrevue de groupe semi-structurée de 90 minutes auprès de cinq enseignants du secondaire et conduit à une analyse thématique de contenu. Les conclusions montrent que les enseignants ont une

compréhension partielle des modèles et qu'ils éprouvent des difficultés à en décrire les principaux attributs. Par ailleurs, c'est la fonction de compréhension qui est la plus importante aux yeux des enseignants pour justifier l'utilisation des modèles en classe.

Enfin, des travaux plus théoriques et philosophiques ont traité des fonctions du modèle et de son rapport à la compréhension de la réalité (Christophilis & Kousathana, 2005; Genzling & Pierrard, 1994; Giere, 1992; Orange, 1994b). Ces recherches, plus synthétiques, ne se situent pas dans la même perspective que la posture de recherche que nous adoptons, mais elles n'en demeurent pas moins intéressantes pour l'éclairage théorique et épistémologique qu'elles apportent à la notion de modèle et de modélisation.

Ainsi, peu de travaux semblent s'être penchés sur les pratiques d'enseignement intégrant la modélisation en S&T au niveau du 2^{ème} cycle du secondaire au Québec. Le but de notre recherche étant d'observer des pratiques d'enseignants pour identifier ce qui pourrait faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement S&T, une approche qui sollicite l'expertise des enseignants nous a semblé souhaitable. D'ailleurs, la plupart des recherches recensées proposaient des interventions élaborées dans le but de perfectionner les enseignants ou d'implanter une théorie éducative. Or, l'échec relatif des modèles *top-down* a été largement constaté (Bednarz, 2004; Couture, 2002; Couture et coll., 2015), ce qui suggère de travailler *avec* plutôt que *sur* les enseignants. Pourtant, plusieurs des travaux inventoriés envisagent un travail *sur* les enseignants à travers des questionnaires ou des entrevues. Ces travaux portent en fait un regard critique sur ce qui se fait, plutôt que de construire avec les praticiens en partant de ce qu'ils font déjà. Or, notre posture épistémologique dirige nos choix méthodologiques vers un engagement des enseignants afin d'explorer avec eux différentes possibilités pour l'enseignement de la modélisation.

3.2. Option méthodologique

Nous inscrivons notre recherche dans une perspective à la fois descriptive, exploratoire et collaborative. Descriptive, dans le sens où elle vise à documenter les pratiques des enseignants de S&T au regard de la démarche de modélisation. Il ne s'agit pas de développer un modèle ou une théorie, mais bien de mettre en œuvre une démarche collaborative permettant une mise au point conjointe de stratégies d'enseignement basées sur la démarche de modélisation. Cette recherche est aussi exploratoire puisqu'elle vise à examiner selon une approche particulière une problématique ayant fait l'objet de peu de recherches en contexte québécois, mais qui est une voie importante à explorer (Lemeignan & Weil-Barais, 1992). De plus, la volonté de dépasser les constats déficitaires sur les pratiques d'enseignement au regard des modèles et démarches de modélisation conduit à examiner les possibilités offertes par les modèles et la démarche de modélisation et, à affiner les stratégies relatives à l'enseignement des modèles et démarches de modélisation en S&T au 2^{ème} cycle du secondaire. Cette dimension exploratoire implique la volonté d'une utilité reconnue pour tous les participants de la recherche afin de construire un nouveau savoir sur la pratique (Desgagné & Bednarz, 2005). Ces possibilités ou propositions didactiques prennent en considération le point de vue des acteurs et le déjà-là de leur pratique (Couture, 2015) en partant de ce qu'ils font pour construire avec eux des scénarios et des approches à essayer, pour rejoindre un critère de viabilité en contexte (Von Glaserfeld, 1995). Dans une intention de continuité plutôt que de rupture, ce sont des ajustements de pratique que nous espérons. Travailler avec les enseignants est donc un besoin pour coconstruire des possibles didactiques (Orange Ravachol & Orange, 2015). Ce travail se fait selon un critère de double vraisemblance qui envisage des retombées pour la pratique, sous forme de propositions didactiques, et pour la recherche, en offrant un éventail de stratégies pour concilier le concret et l'abstrait. Nous retrouvons cette logique sur la figure ci-dessous :

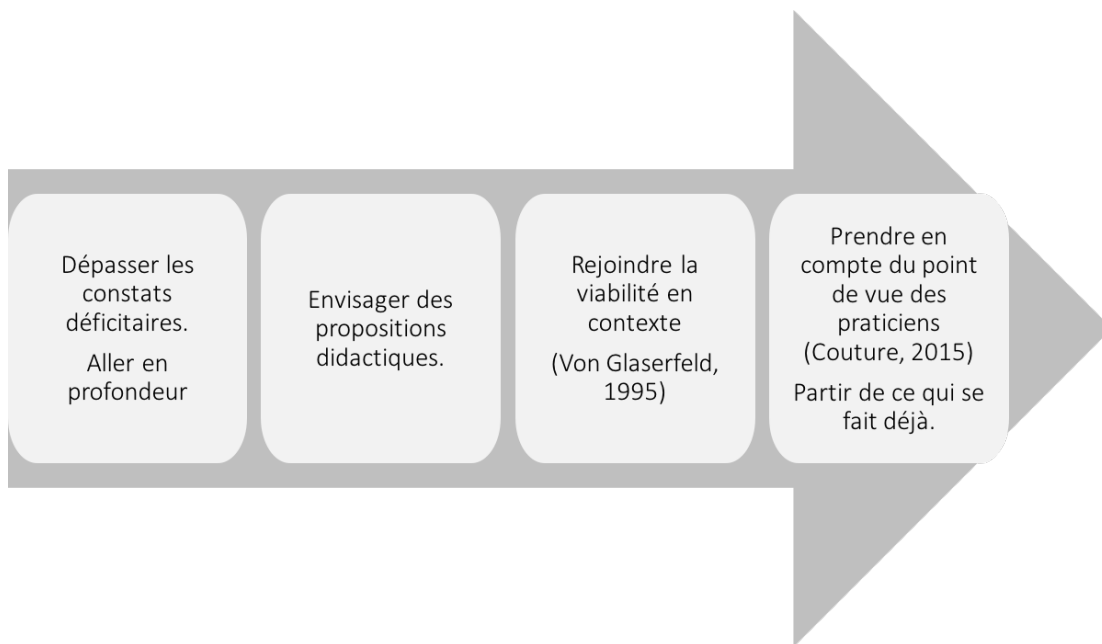


Figure 2.8 : Logique de la démarche de recherche

L'ambition est donc bien de travailler avec les enseignants : explorer, décrire et examiner avec eux des pratiques d'enseignement liées aux modèles et à la démarche de modélisation. Ce sont eux qui ont l'expérience du terrain, qui connaissent le mieux leur pratique et qui sont alors les plus aptes à l'expliquer et à la partager (Perrenoud, 2001). En ce sens, la recherche peut être qualifiée de collaborative puisque nous avons l'intention de travailler avec les praticiens, dont les interactions, et les réflexions vont être le matériau qui va alimenter la recherche, alors que l'expertise du chercheur pourra venir nourrir la réflexion des enseignants sur leur pratique relative à l'enseignement de la démarche de modélisation en S&T au 2^{ème} cycle du secondaire.

Une grande ouverture tout au long de la démarche de recherche est nécessaire dans une telle posture. Dans cette logique, la collecte des informations sur le terrain se fait par l'intermédiaire de dispositifs manifestement ouverts et situés en contexte dans la vie des acteurs (Paillé & Mucchielli, 2008). Le type de données découlant de tels dispositifs nous engage sur la voie d'une analyse qualitative par laquelle nous saisissons le sens des données recueillies (Karsenti & Savoie-Zajc, 2004; Savoie-Zajc,

2004a), en accord avec la nature exploratoire de notre recherche. L'analyse conduit alors à produire une interprétation de la réalité vécue par les acteurs (Le Moigne, 1990) : « la recherche est un discours sur le discours des acteurs (interprétations) » (Dumez, 2010, p. 11). Par la dynamique de collaboration qui s'installe dans ce processus, les acteurs participent à l'interprétation des données en raison de leur réflexion et de leur discours sur les situations discutées ensemble. La démarche scientifique « n'est plus définie par son objet, mais par son projet » (Le Moigne, 1990, p. 108) : celui de comprendre les pratiques d'enseignement relatives aux modèles et à la démarche de modélisation et qui sont déployées par les acteurs.

3.3 Positionnement épistémologique de la chercheuse

La posture épistémologique qui définit la chercheuse et son projet est de nature constructiviste et interprétativiste selon la vision de Popper (1979) et G. Bachelard (2004) et exposé par Perret & Séville (1999). En effet, les faits étudiés sont construits par les interprétations de la chercheuse et des acteurs que sont les enseignants (Dumez, 2010). Dans cette perspective, le travail réalisé se fait *avec* les enseignants et nous permet d'explorer, décrire et examiner avec eux des situations d'enseignement où sont utilisés des modèles et des démarches de modélisation.

La vision compréhensive ou interprétative se manifeste « au sens où l'analyse de la situation suppose de faire une analyse fine des connaissances et informations dont disposent les acteurs dans une situation donnée, c'est-à-dire un travail de compréhension » (Dumez, 2010, p. 11). L'objectif est d'analyser les pratiques d'enseignement mises en jeu et de dégager des résultats permettant de développer conjointement des ajustements de pratique mettant en œuvre des stratégies centrées sur les modèles et des démarches de modélisation, pour faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait. L'analyse de ces ajustements de pratique, selon les visées éducatives en S&T, permet d'envisager l'intérêt pour les enseignants de recourir de

manière plus consciente à un enseignement basé sur les modèles et la démarche de modélisation. L'intention est bien de construire une compréhension en profondeur du phénomène (Deslauriers, 1991). Il s'agit ici de concevoir comment la démarche de modélisation peut aider à résoudre certaines difficultés inhérentes à l'enseignement de S&T, particulièrement dans la gestion du rapport entre le concret et l'abstrait.

C'est ainsi que nous choisissons le courant de la recherche collaborative pour étudier des pratiques d'enseignement et des stratégies favorisant l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement de la modélisation.

3.4 Recherche collaborative

La recherche collaborative fait partie du courant de la recherche participative dont les origines remontent à John Dewey (1910 et 1929), qui « rêvait de créer une science de l'éducation où les enseignants participeraient activement » (Dolbec & Clément, 2004, p. 183). Ce courant de recherche participative est basé sur « un rapport actif et coconstruit aux savoirs et à la réalité » (Anadón & Couture, 2007, p. 3). Dans un tel paradigme, « les savoirs sont valorisés et ancrés dans une réalité construite et multiréférentielle » (*Ibid.* p. 3). C'est ainsi que le courant correspondant à la recherche collaborative prône la collaboration entre chercheurs et praticiens « pour une copénétration de la recherche de l'action, de la recherche du développement pratique et de la recherche théorique » (A. Morin & Potvin, 1994, p. 4). Alors, la production de connaissances pour la recherche doit se faire simultanément avec l'enrichissement de la pratique des enseignants, qui n'est plus secondaire aux processus de production de connaissances (Desgagné, Bednarz, Couture, Poirier & Leblais, 2001). La participation à une telle recherche est ainsi valorisante et enrichissante pour l'enseignant, ce qui peut favoriser pour lui l'émergence de nouveaux rôles (J. A. Lee, 1994).

Par ailleurs, l'importance du contexte dans l'étude des pratiques d'enseignement pour développer des stratégies d'enseignement viables (Von Glaserfeld, 1995, 2004) plaide en faveur d'une investigation menée avec des enseignants plutôt que sur leurs pratiques (Desgagné, 2001; Desgagné & Bednarz, 2005; Desgagné et coll., 2001). En effet, la chercheuse a conscience que l'enseignant seul décide de ses actions, car « [il] connaît plus intimement que tout autre les éléments de sa situation, et qu'en fin de compte, il en assumera l'ultime responsabilité » (Van Der Maren, 2006, p. 75). Alors, le chercheur « sait qu'il ne peut que se mettre en position d'accompagnement du praticien, d'écoute et de partage des réflexions de ce dernier, de miroir et de reflet de ses actions de façon à permettre une coanalyse de la pratique » (*Ibid.*).

Cette posture est en accord avec les propos de Cochran, Smith et Lytle (1993) pour qui de nombreuses études révèlent la résistance des praticiens à adopter les solutions proposées par les chercheurs. Ainsi, notre posture de recherche s'inscrit dans une perspective de critique évolutive de la pratique plutôt que dans celle d'une analyse critique des actions éducatives (Van Der Maren, 1995). Concrètement, nous voulons travailler avec des enseignants sur leurs pratiques pour trouver des stratégies qui facilitent l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement de S&T sans mettre l'accent sur l'analyse critique de ce qu'ils font déjà. La chercheuse et les enseignants sont donc engagés dans un questionnement commun à propos d'une action concrète, qui concerne les pratiques d'enseignement. La chercheuse est une interprète de cette action, tandis que l'enseignant en est l'acteur (Van Der Maren, 2006). C'est donc le mélange des expertises que nous souhaitons (Desgagné, 2007), avec l'idée « de créer un espace de complémentarité des expertises pour la construction du savoir, un espace d'interface entre raison pratique et raison théorique » (*Ibid.* p. 115).

Notre choix se justifie par la volonté de réaliser une recherche en profondeur plutôt qu'une large investigation descriptive (Savoie-Zajc, 2004a). L'ambition est

d'explorer « [des] situations d'enseignement, sous l'angle d'une construction en contexte, qui prend en compte leur point de vue (celui des enseignants) dans la conceptualisation même des moyens élaborés » (Bednarz, Desgagné, Diallo & Poirier, 2001, p. 180). Cette construction, que nous envisageons comme une construction de sens, passe obligatoirement par la compréhension qu'a l'enseignant de sa pratique à l'intérieur de laquelle se situe son intervention. La chercheuse se doit donc de faire « émerger du discours une organisation de sens » (Desgagné, 1998, p. 92), ce « sens que le praticien construit *en contexte*, qu'il donne à ces situations dans l'exercice même de sa pratique, devient en conséquence *crucial* » (Desgagné et coll., 2001, p.45). « La recherche collaborative est ainsi fondée sur l'idée que les praticiens sont essentiels dans cette démarche de production de connaissances » (Bednarz, Poirier, Desgagné & Couture, 2001, p. 45) et la chercheuse a besoin du point de vue des enseignants « dans la construction d'un certain savoir enseigner, fondamentalement lié à leur pratique » (Desgagné et coll., 2001, p. 45). Dans cette perspective, l'enseignant n'est pas un objet de recherche, mais il devient un partenaire « avec qui on pose un regard complice et réflexif sur la pratique » (*Ibid.* 2001, p. 34). Cette approche s'appuie sur les postulats d'interdépendance et de coconstruction (Lien Do, 2003). La chercheuse se trouve sur le terrain avec les sujets et son mandat est d'installer un climat favorable qui permet de négocier l'objet, les méthodes, les techniques et la démarche à mettre en place afin d'assurer la qualité des résultats qui découlent de la recherche et leur pertinence pour la pratique selon un critère de double vraisemblance (Dubet, 1994).

À ce stade, il semble utile d'aborder les étapes qui structurent la recherche collaborative afin de comprendre son importance sur le plan méthodologique. Selon (Barry & Saboya, 2015) :

Chacune de ces trois étapes renvoie à un enjeu central pour le « chercheur collaboratif », soit de prendre en considération à la fois la voix des praticiens, le

point de vue de la pratique et les balises de la communauté de recherche à laquelle appartient le chercheur. (p. 51)

Desgagné (1997, 1998, 2001) définit ainsi la cosituation, la coopération et la coproduction au cours desquelles se manifeste la coconstruction entre enseignants et chercheurs autour du projet commun (Larouche, 2005). Cette coconstruction peut s'opérer « par l'intermédiaire d'une démarche itérative intégrant des moments de planification conjointe, des moments de réalisation en classe et d'autres qui sont des retours réflexifs sur cette expérimentation » (Couture, 2005, p. 321). Le préfixe *co* « dans les étapes dites de cosituation, coopération et coproduction, ne signifie pas que les acteurs, praticiens et chercheurs, font tout ensemble, mais qu'à chaque étape de la recherche, la double logique est respectée » (Desgagné, 1998, p. 40). En effet, l'aspect collaboratif d'un tel projet doit répondre à un double critère de vraisemblance défini par Dubet (1994) comme le rapprochement de deux cultures : celle de la recherche et celle de la pratique. L'approche collaborative joue ainsi simultanément sur deux registres; celui de la production de connaissances utiles à la recherche et celui du développement des pratiques professionnelles des enseignants. De même, elle contribue à jeter des ponts et à rapprocher deux communautés, à établir un dialogue entre recherche et pratique (Desgagné, 2007) selon une volonté de coconstruction de savoirs (Desgagné, 2007).

3.4.1 Étape de cosituation

Selon Sebillotte (2007), « il n'y a pas de passage direct possible des problèmes tels que les formulent les partenaires à des questions traitables par la recherche » (p. 59). La solution réside alors dans la coconstruction simultanée et des problèmes évoqués par les enseignants et du programme de recherche. Une étape de cette coconstruction réside dans ce que Desgagné (1997, 2001) appelle la cosituation. Cette étape renvoie à la négociation du contrat conduisant à l'élaboration d'un projet commun devant interpellier les deux cultures. L'enjeu est d'établir une double pertinence à la fois pour

la chercheuse et pour les praticiens (Barry, 2013; Bednarz, 2013a, 2013b). Les enseignants posent alors leurs conditions en fonction de leurs préoccupations et de l'organisation de leur tâche d'enseignant (Couture, 2005). Il s'agit de construire ensemble une liste de problèmes et de questions retenus pour la recherche, mais qui concerne la pratique. Sebillotte (2007) les nomme d'ailleurs « les questions de la pratique » (p. 59). Les questions de la pratique ne constituent pas en soi l'objet de recherche, mais elles sont organisées en système qui permet de mettre en relation les problèmes et les questions. Cette organisation est déjà une façon de voir l'objet de recherche. Le rôle du chercheur est de s'emparer des questions de la pratique, de les problématiser pour déboucher sur une représentation commune acceptée par tous les partenaires et qui devient ainsi l'objet scientifique (*Ibid.*).

Au cours de cette étape de discussion et de négociation, le rôle du chercheur est de favoriser la plus libre expression de chacun. Il doit s'assurer que le cœur du problème est cerné, que les questions abordées n'ont pas déjà fait l'objet de réponses et qu'elles peuvent faire l'objet d'une recherche, ou encore que d'autres questions n'ont pas été oubliées (*Ibid.*). Cette discussion entraîne un compromis qui peut venir remettre en cause les positions initiales de chacun, mais elle forme le socle du partenariat et aboutit à la construction d'une représentation commune et partagée de la situation. Elle constitue une sorte de mandat ou de contrat entre les différents partenaires (Bednarz, Poirier, et coll., 2001). La construction de ce contrat « sera la source de la collaboration nécessaire » (Sebillotte, 2007, p. 82). Le diagnostic ainsi établi joue de plus un rôle central sur le plan épistémologique « puisque c'est lui qui fixe et délimite le champ des recherches à mener » (*Ibid.* p. 61), et qui permet donc l'élaboration du cadre conceptuel (Desgagné, 1998). La cosituation est donc présente au début du projet de recherche, mais elle se poursuit également en cours de processus, puisque la recherche ne peut évoluer dans un cadre figé et rigide et que celui-ci requiert plusieurs ajustements en cours de route, en fonction des attentes de chacun. Il importe

donc d'assurer une réelle ouverture et une certaine souplesse dans le travail mené avec les enseignants.

3.4.2 Étape de coopération

L'étape de la coopération concerne, d'après Desgagné (1997, 2001), les moments où se construit le matériau à analyser. Elle est donc présente tout au long de la recherche collaborative et touche ce qui se fait ensemble : aussi bien les moments de planification que les moments de mise en œuvre des tâches planifiées, ou bien encore les discussions qui permettent les régulations en cours de processus (Beckers & Simons, 2010). Les différentes rencontres régulières entre chercheuse et enseignants conduisent à une activité réflexive permettant « de créer une zone interprétative autour de la pratique qui est objet d'exploration » (Desgagné et coll., 2001, p. 37). La démarche de réflexion ainsi engagée doit engendrer des retombées autant pour la recherche que pour la pratique « dans une perspective de médiation entre deux cultures de savoirs à rapprocher » (Sebillotte, 2007, p. 69) : celle de savoirs en action et celle des savoirs savants (Desgagné, 1998). La coopération permet la collecte de diverses données. Elle doit aussi favoriser un développement professionnel chez les praticiens grâce aux réflexions et discussions engendrées lors des rencontres avec la chercheuse, dont le point de départ concerne l'articulation du concret et de l'abstrait et à la démarche de modélisation en S&T.

3.4.3 Étape de coproduction

Selon Desgagné (1997, 2001), la coproduction porte sur l'analyse de ce qui est produit collectivement. Elle correspond à une réflexion commune sur ce qui se fait ensemble. Cette réflexion commune vient nourrir la recherche et alimenter la pratique des enseignants. Dans une recherche collaborative, une certaine part de l'analyse des données est commune et concomitante à la collecte puisque la chercheuse prend

nécessairement en compte les catégories des praticiens dans le processus d'analyse (Desgagné, 1997). Les données sont analysées par la chercheuse et favorisent la construction de connaissances pour la recherche. Ces connaissances renseignent la didactique des sciences sur un savoir relatif à l'utilisation des modèles et de la modélisation en S&T. Elles orientent aussi la suite des discussions avec les enseignants. D'une rencontre à l'autre, la coproduction débouche sur la production d'un savoir éclairant les praticiens sur leur pratique et sur la genèse de connaissances nécessaires à la recherche par l'intermédiaire d'un dialogue entre les catégories des enseignants et celles du chercheur (Sebillotte, 2007). Cependant, la chercheuse va nourrir sa recherche en cours des réflexions des acteurs sur leur propre pratique, sur ce qui a été construit et exploré ensemble. La méthodologie souple permet de s'adapter aux questions et conjonctures qui émergent en cours de processus et de faire entendre les voix des deux communautés (Desgagné, 1997). L'auteur évoque une étape de cointerpétation où les catégories des praticiens et des chercheurs sont toutes deux prises en compte. L'aboutissement de cette étape est la production et la diffusion de résultats ayant « une résonance dans les deux cultures » (Desgagné et coll., 2001, p. 57). L'enjeu est aussi de trouver une présentation cohérente des résultats de recherche qui satisfasse la communauté de pratique et la communauté de recherche (Sebillotte, 2007). Cette étape de coproduction donne en effet lieu à une double production (Desgagné, 2001), comme le montre la figure ci-après. La production de connaissances utiles à la recherche concerne les pratiques d'enseignement au regard des modèles et de l'enseignement de la démarche de modélisation, alors que la production de connaissances utiles aux enseignants leur permet une réflexion sur leurs pratiques d'enseignement et sur les stratégies auxquelles ils ont recours relativement à la modélisation pour faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait.

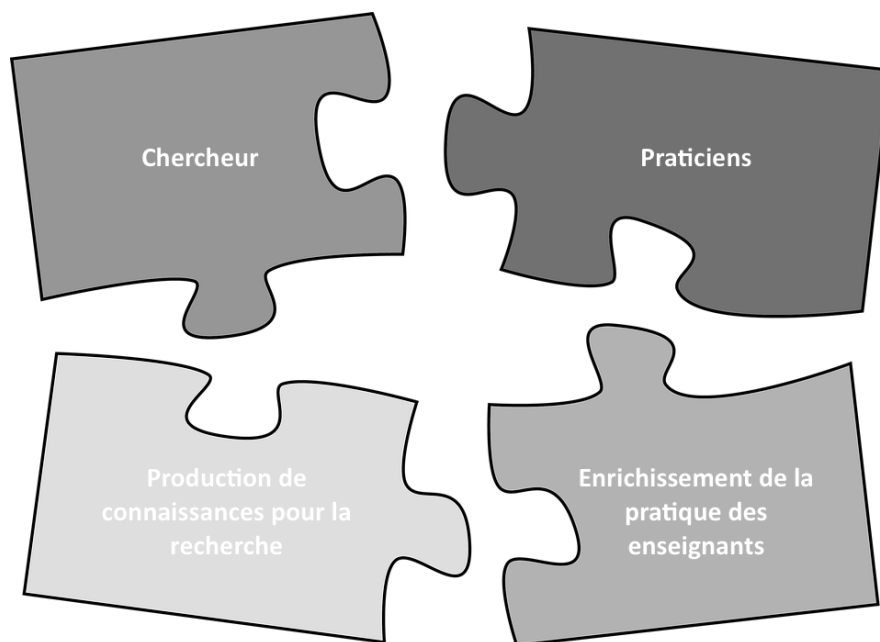


Figure 3.1 : Logique de double production de la recherche collaborative

Ainsi, la coconstruction se manifeste dans le développement d'une « méthodologie adéquate qui reconnaît les rôles de chacun et part explicitement de la nécessité de construire d'abord le questionnement de la pratique professionnelle avant d'être traduit en question scientifique » (Sebillotte, 2007, p. 83). Cependant, pour la chercheuse, les données ne sont pas constituées de ce que les enseignants font déjà. Elles concernent plutôt le regard que ceux-ci vont porter sur leur pratique et le dialogue collectif qui va naître de cette attention. Elles ne concernent pas directement ce qui va se faire en classe, mais bien la réflexion suscitée par ce qui a été mis en place. Ainsi, ce sont davantage les interactions entre les différents partenaires du groupe qui fournissent les données à analyser. L'objet construit pour une pratique de classe n'est qu'un prétexte pour alimenter la réflexion des enseignants et de la chercheuse sur les modèles et la démarche de modélisation en cours de S&T.

Il émerge de ces diverses considérations une dynamique ternaire qui s'établit entre la chercheuse, les praticiens et les objets sur lesquels les praticiens exercent une action.

Sur le plan épistémologique, nous pouvons alors définir deux triangles complémentaires de savoirs selon que le terrain est celui du praticien ou celui du chercheur : « le chercheur doit simultanément chercher le sens de la situation au regard du praticien et au regard de ses connaissances théoriques » (Sebillotte, 2007, p. 83). La figure ci-dessous évoque cette dynamique entre les savoirs professionnels dominés par le praticien et les savoirs scientifiques appréhendés par la chercheuse sur le terrain.

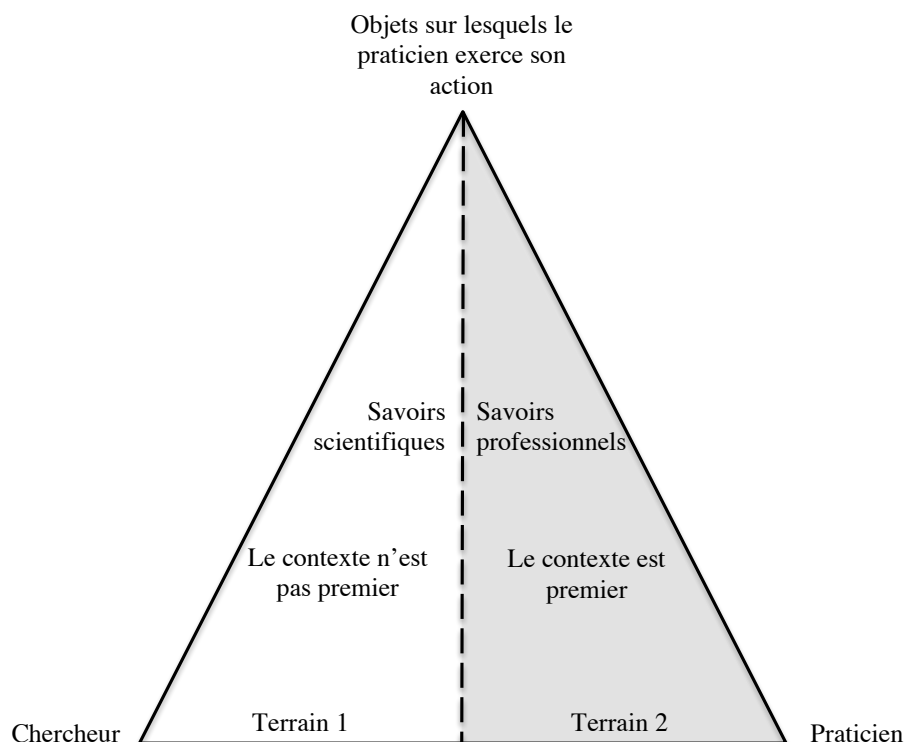


Figure 3.2 : Triangles du savoir d'après Sebillotte (2007)

Le rôle de la chercheuse est d'exercer une médiation entre les deux savoirs en portant un double regard qui favorise une double production : l'une relative aux savoirs scientifiques, l'autre aux savoirs professionnels. Cette co-élaboration, basée sur les échanges et la réflexion, doit donc partir de ce que les enseignants font déjà (Couture et coll., 2012) pour articuler le concret et l'abstrait dans leur pratique d'enseignement. Cela implique de faire s'exprimer les enseignants sur *l'ex-ante* de leur pratique en leur donnant les moyens d'analyser ce qui fonctionne bien et ce qui fonctionne moins

bien. La co-élaboration engendre aussi une réflexion sur ce qui pourrait se faire au regard de l'articulation du concret et de l'abstrait en considérant l'apport que représente la démarche de modélisation. Cette élaboration commune veut enfin favoriser une métaréflexion sur ce qui a été fait ensemble afin que les enseignants puissent en tirer bénéfice pour leur pratique et que la chercheuse y trouve des connaissances pouvant éclairer la didactique des sciences et des technologies.

3.5 Opérationnalisation de la collecte de données

Dans un premier temps, trois écoles secondaires ont été contactées et dix-huit enseignants ont participé à une rencontre de présentation du projet, à l'issue de laquelle quatre enseignants volontaires ont accepté de participer sur la base de trois groupes focalisés qui pourraient être complétés par d'une à deux observations en classe par enseignant, selon la disponibilité de chacun. L'organigramme suivant présente l'organisation de cette recherche.

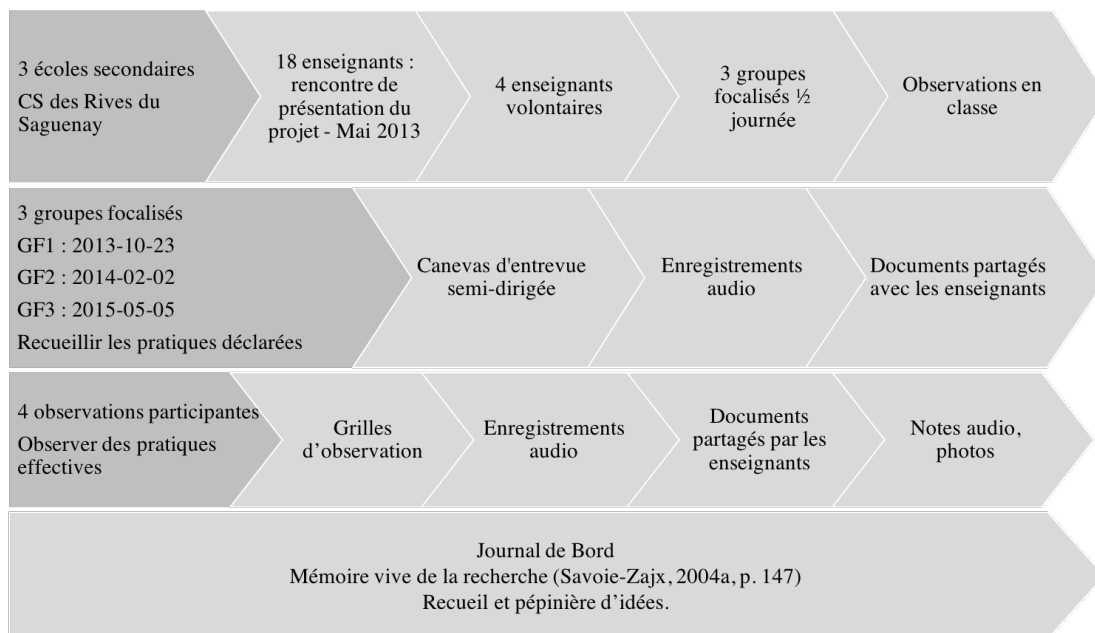


Figure 3.3 : Organigramme de la recherche

Le devis méthodologique s'est concrétisé en trois groupes focalisés et quatre observations en classe avec trois enseignants. Le journal de bord, compagnon de toute la recherche, permet de noter ces petits riens qui émaillent la recherche, mais qui peuvent devenir beaucoup en termes de constats, de réflexion et de triangulation des données. Ce nombre de quatre enseignants, d'allure modeste, favorise une proximité entre les partenaires et la chercheuse, ainsi qu'un plein engagement dans le projet permettant de pénétrer au cœur du phénomène (Charmaz, 2004). Par ailleurs, notre posture épistémologique nous conduit à centrer notre activité sur le terrain de l'acteur qu'est l'enseignant au cœur même de l'action pour l'écouter, l'observer, discuter avec lui afin de mieux saisir, dans le sens de décrire et comprendre, le contexte tel que lui-même le perçoit (Van Der Maren, 2006). Il est alors possible de faire ressortir « les indications et les possibilités d'agir qui stimulent et limitent » (*Ibid.* p. 76) l'exécution de l'action envisagée qui, pour nous, est relative à l'enseignement de la démarche de modélisation au secondaire, en cours de S&T.

De ce fait, cette perspective participative suggère d'utiliser des « stratégies souples afin de préserver l'interaction avec les participants » (Savoie-Zajc, 2004a, p. 133). Il est essentiel pour la chercheuse de combiner plusieurs de ces stratégies afin de bien faire ressortir les différentes facettes du problème à l'étude et pour confirmer les diverses données entre elles (*Ibid.*). Les modalités les plus appropriées semblent donc être des groupes de travail sur la base de rencontres régulières, permettant des planifications conjointes et des retours réflexifs sur ce qui est vécu en classe au regard des modèles et de la démarche de modélisation. Ces rencontres prennent la forme de groupes focalisés offrant la possibilité de discussions ouvertes où chacun peut s'exprimer. De plus, des observations participantes (Martineau, 2005) en salle de classe permettent d'observer ce qui se fait en contexte et de recueillir des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation afin de faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait. Ainsi, les outils de collecte permettant de recueillir les

données sont : 1) le groupe focalisé; 2) les observations participantes en salle de classe; 3) le journal de bord de la chercheuse.

3.5.1 Description des outils de collecte de données

Selon (Maubant, 2007), « si l'on veut analyser la pratique enseignante, on doit donc chercher en premier lieu à identifier et à comprendre les principes organisateurs de cette pratique, d'une part, et les savoirs professionnels mobilisés, d'autre part » (p. 18). En ce sens, il est nécessaire de choisir des dispositifs adéquats afin de produire des descriptions pertinentes de ces pratiques et d'en dégager la structure conceptuelle (Pastré, 2002). Ces choix impliquent d'observer les enseignants en action, mais aussi de recueillir leur propos sur le sens qu'ils donnent à ces actions, afin de saisir la logique de l'action et de faire le lien entre le geste posé, les constructions théoriques et les croyances épistémologiques de l'enseignant.

3.5.1.1 Groupe focalisé

Pour recueillir les propos des enseignants, nous choisissons de mener des entrevues définies comme des rencontres concertées entre plusieurs personnes afin de parler ensemble. Savoie-Zajc (2009) précise qu'une entrevue est « [u]ne interaction verbale entre des personnes qui s'engagent volontairement dans pareille relation afin de partager un savoir d'expertise, et ce, pour mieux dégager conjointement une compréhension d'un phénomène d'intérêt pour les personnes en présence » (p. 339).

Cette méthode permet à plusieurs personnes de construire, dans l'interaction de la discussion, un dialogue autour d'un sujet précis (Govers & Absil, 2010). Ces entrevues, afin de rester souples, sont envisagées dans une forme semi-dirigée ou semi-structurée. L'entrevue semi-dirigée est définie comme un outil de collecte de données qui « se situe quelque part entre le questionnaire (entrevue structurée) et la conversation (entrevue libre) » (Barry, 2010, p. 108). La conversation, relativement

affranchie, doit néanmoins être supportée par un canevas d'entrevue (Martel, 2007; Savoie-Zajc, 2009), « une sorte d'aide-mémoire où seront développés les principaux points sur lesquels elle veut faire porter l'entretien » (Poisson, 1992, p. 74) et qui suggère des pistes de questionnement. La formulation des questions doit rester relativement ouverte pour faciliter la parole des participants. Ces dernières se situent plutôt dans le *comment* et dans le *pourquoi* (Defise, 2016). Pour faciliter une bonne compréhension, les questions se doivent d'être courtes et formulées dans le langage courant. Selon Savoie-Zajc (2009), le choix de l'entrevue semi-dirigée doit prendre en compte la thématique, l'objet et les finalités de l'étude dans le choix d'un tel outil de collecte de données.

Dans cette étude, l'entrevue semi-dirigée se place dans le contexte de groupe focalisé, souvent appelé *focus group* ou entretien de groupe. Le groupe focalisé est une technique d'enquête et d'entretien permettant de recueillir de l'information sur un sujet ciblé (Sharken- Simon, 2013). Un nombre restreint de personnes est réuni dans une entrevue semi-dirigée, centré sur un sujet qui concerne directement les personnes regroupées (*Ibid.*). Ainsi, il s'agit bien d'une méthode de collecte de données qualitatives basée sur la dynamique du groupe qui doit favoriser l'expression des perceptions, des attitudes et des croyances par rapport à un sujet donné (Leclerc, Bourassa, Picard & Courcy, 2011). La parole est ouverte, tout en étant guidée par quelques thèmes négociés à l'avance (Davister, 2004; Govers & Absil, 2010). Cette méthode interactive et interprétative se préoccupe davantage de la façon dont les personnes se représentent une réalité et s'y ajustent qu'à la réalité objective elle-même (*Ibid.*). Les chercheurs ayant recours à cette technique s'intéressent « à la façon dont les sujets sociaux font émerger et négocient leurs connaissances » (Kitzinger, 2004). La dynamique de groupe qui s'instaure lors des discussions permet d'explorer et d'encourager l'expression de différents points de vue (Catterall & Maclaran, 1997). Chaque personne peut faire valoir ses idées, ses priorités, ses valeurs et son vécu (Catterall & Maclaran, 1997). Ces intentions sont en corrélation avec notre projet et

notre posture épistémologique. En effet, la volonté est bien d'analyser les pratiques d'enseignement par l'entremise du regard que les enseignants vont porter sur leur propre pratique, par le dialogue collectif engendré, ainsi que par la réflexion collective suscitée autour de ce qui a été collectivement envisagé et mis en place. Leclerc et coll. (2011) affirment d'ailleurs que cette technique de groupe focalisé se prête parfaitement à une démarche collaborative par sa nature cyclique où des moments de réflexion et d'élaboration alternent avec d'autres épisodes de passage à l'action (Dolbec & Clément, 2004). Les groupes focalisés présentent entre autres l'avantage de minimiser le contrôle exercé par la chercheuse en donnant une certaine légitimité aux savoirs d'expérience (Leclerc et coll. 2011).

Dans le contexte de notre recherche, les dispositifs choisis permettent de construire ensemble une compréhension des pratiques d'enseignement en S&T relatives aux difficultés liées à l'articulation du concret et de l'abstrait. Cette construction commune lors des groupes focalisés peut éventuellement conduire les enseignants à réaliser ou envisager des ajustements dans leur pratique. Les discussions émergeant des groupes focalisés permettent donc à la chercheuse d'analyser les pratiques d'enseignement utilisant les modèles et la démarche de modélisation, d'examiner avec les enseignants des stratégies mises en œuvre pour concilier le concret et l'abstrait afin de développer des ajustements de pratique, et d'analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.

3.5.1.2 Observation participante

Dans un but anthropologique, l'observation participante (Martineau, 2005) permet de déchiffrer les pratiques d'enseignement et les routines en classe à l'égard des modèles et de la démarche de modélisation. Selon Sensevy (2001b), l'action humaine ne peut s'expliquer et se comprendre que dans le contexte dans lequel elle se déploie, en regard des situations et des institutions qui la balisent. La volonté est de construire

une «phénoménologie de l'action pédagogique, au sens où, en dégagant l'anecdotique de l'action de ses contraintes, on puisse mieux saisir les rapports de base de l'action à son contexte de réalisation» (Van der Maren, 2006, p. 76). Dans ce contexte, les observations participantes de situations en classe nourrissent la réflexion lors des groupes focalisés et permettent la mise en pratique éventuelle d'ajustements envisagés collectivement. Le produit d'une telle recherche n'est donc pas un modèle ni la proposition de solutions ou d'actions «clé en main». Il se traduit plutôt par la considération des conditions et contraintes tant humaines que sociales, logistiques ou bien institutionnelles à partir desquelles l'enseignant va pouvoir envisager des possibilités réalistes d'action, et ce, dans une optique compréhensive. Cette action concerne les pratiques d'enseignement relatives aux modèles et à la démarche de modélisation. L'enseignant seul décide de ce qu'il met en œuvre pour des raisons qui lui sont propres (Van der Maren, 2006). La participation est essentielle puisqu'elle favorise un accès privilégié à la compréhension et à l'appréhension du phénomène envisagé (Laperrière, 2009) : l'utilisation de la démarche de modélisation dans l'articulation du concret et de l'abstrait en S&T. Il s'agit de centrer son attention sur la situation qui se développe en classe lors de l'usage de certains modèles et d'en analyser la dynamique interne pour arriver à une compréhension en profondeur du phénomène étudié (Savoie-Zajc, 2004a). Dans la perspective d'analyser ces données d'observation, les séances en classe sont enregistrées de manière audio et accompagnées des notes de terrain que la chercheuse consigne dans le journal de bord.

3.5.1.3 Journal de bord de la chercheuse

Le journal de bord est décrit par Savoie-Zajc (2004a) comme une « sorte de mémoire vive de la recherche » (p. 147). Il intègre les divers doutes, interrogations, idées et impressions, réactions ou intuitions (Laperrière, 2009). Ces éléments enrichissent l'expérience de recherche et viennent compléter l'analyse des verbatims en favorisant

l'attitude réflexive de la chercheuse pendant toute la durée de la recherche (Baribeau, 2005; Savoie-Zajc, 2004a), ce que Bourassa, Bélair et Chevalier (2007) qualifient de « réflexion en action sur l'action qui se négocie avec d'autres » (p. 4). Le journal de bord est aussi un espace privilégié où la chercheuse peut noter des sentiments et des réflexions les plus divers, ainsi que les informations les plus variées (*Ibid.*). Il peut être défini comme un lieu où sont déposés les informations, la mémoire et les sentiments de la chercheuse le long du parcours que constitue la recherche et qui lui permettra de reconstituer l'atmosphère dans laquelle celle-ci se déroule. Finalement, cette reconstitution permet à la chercheuse de prendre conscience des biais éventuels (Laperrière, 2009), favorisant ainsi un certain recul qui pourra mieux faire ressortir les incidents critiques, les messages subtils (Savoie-Zajc, 2004a) et donc tous les éléments qui soutiennent une compréhension en profondeur du phénomène.

Les réflexions personnelles de la chercheuse sur le déroulement quotidien de la recherche sont matérialisées par des mémos et des notes de terrain qui ont une visée à la fois descriptive, analytique et interprétative. Ils font, de ce fait, partie intégrante des données et peuvent être traités comme tels (Bourassa et coll. 2007). Ces notes se situent à deux niveaux : un niveau général et un niveau particulier. Le niveau général vise à faire ressortir les grands traits relativement aux événements marquants, aux activités et à leur durée, mais aussi aux acteurs, à leur attitude et aux gestes qu'ils posent. Le niveau particulier ou sélectif surgit par l'écoute attentive des conversations, par la demande de précisions dans le but de cerner le sens donné par les acteurs à leurs actions (Bourassa et coll. 2007). Par ailleurs, les notes recueillies sont de trois types : descriptives, théoriques et méthodologiques (Deslauriers, 1991; Savoie-Zajc, 1996). Les notes descriptives dépeignent le contexte dans lequel s'est située l'observation (relatives aux lieux, acteurs, événements et activités). Les notes théoriques concernent les concepts se rapportant au cadre théorique de la recherche, qui traversent l'esprit du chercheur lors de l'observation (Savoie-Zajc, 2004a). Les notes méthodologiques sont reliées aux changements éventuels apportés au devis de

recherche, aux modifications du canevas d'entrevue en cours de processus, le tout accompagné des justifications nécessaires. Ainsi, le journal de bord est bien un outil essentiel de collecte de données.

3.5.2 Organisation des groupes focalisés et des observations en classe

Les groupes focalisés d'une demi-journée et des observations en classe sur une période de cours s'établissent suivant une organisation en accord avec les trois étapes de la recherche collaborative (Desgagné, 2001). Une première rencontre de groupe permet de planifier et préciser le projet commun à l'aide d'une discussion autour des modèles et de la modélisation en S&T. Elle permet de mettre en évidence ce que les enseignants jugent être leur meilleure stratégie. Elle est le point de départ de la première séance d'observation qui fournit à la chercheuse des données sur les pratiques effectives des enseignants. Les éléments de réflexion permettent, lors d'une deuxième rencontre de groupe, de préciser le projet commun autour de l'élaboration conjointe de situations d'enseignement. Ces considérations étayent la planification d'ajustements dans la pratique des enseignants (Savoie-Zajc, 2005). Certains ajustements sont examinés lors d'une observation en classe d'une situation d'apprentissage conduite par une enseignante qui s'est proposée pour essayer une stratégie particulière discutée ensemble. Enfin, une dernière rencontre de groupe permet de dresser un bilan des réalisations communes. L'organisation des rencontres de groupes et des observations en classe est la suivante :

Tableau 3.1-a : Organisation des rencontres de groupe et des observations en classe

GROUPE FOCALISÉ N° 1			
Planifier et préciser notre projet commun	<ul style="list-style-type: none"> – Entrevue semi-dirigée : discussion autour des modèles et de la modélisation dans l’enseignement de S&T – Annexes A et B – Enregistrement audio – Prise de notes 	<u>Objectif 1</u> : Analyser les pratiques d’enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.	Journal de bord de la chercheuse
OBSERVATION N° 1			
Observer ce qui se fait en classe au regard des modèles et de la démarche de modélisation	<ul style="list-style-type: none"> – Observation en classe soutenue par une grille d’observation – Annexes C et D – Enregistrement audio – Prise de notes 	<u>Objectif 1</u> : Analyser les pratiques d’enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation. <u>Objectif 2</u> : Développer, avec les enseignants, des ajustements de pratique qui font appel à des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation afin de faciliter l’articulation du concret et de l’abstrait.	Journal de bord de la chercheuse
GROUPE FOCALISÉ N° 2			
Partager un cadre de référence et planifier conjointement des ajustements de pratique	<ul style="list-style-type: none"> – Entrevue semi-dirigée : discussion autour des modèles et de la modélisation dans l’enseignement de S&T - Annexes E et F – Enregistrement audio – Prise de notes 	<u>Objectif 1</u> : Analyser les pratiques d’enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation. <u>Objectif 2</u> : Développer, avec les enseignants, des ajustements de pratique qui font appel à des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation afin de faciliter l’articulation du concret et de l’abstrait.	Journal de bord de la chercheuse

Tableau 3.1-b : Suite de l'organisation des rencontres de groupe et des observations en classe

OBSERVATION N° 2			
Mettre à l'essai certaines stratégies d'enseignement pour articuler le concret et l'abstrait	<ul style="list-style-type: none"> – Observation en classe soutenue par une grille d'observation – Annexes G et H – Enregistrement audio – Prise de notes 	<u>Objectif 3</u> : Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.	Journal de bord de la chercheuse
GROUPE FOCALISÉ N° 3			
Faire le bilan de nos réalisations	<ul style="list-style-type: none"> – Entrevue semi-dirigée : discussion autour des modèles et de la modélisation dans l'enseignement de S&T – Annexes I et J – Enregistrement audio – Prise de notes 	<u>Objectif 3</u> : Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.	Journal de bord de la chercheuse

Cet engagement sur la voie de la recherche collaborative nous porte naturellement vers une activité réflexive organisée autour de différentes rencontres entre chercheuse et praticiens (Desgagné et coll., 2001). Cette « réflexivité permet de capter une pratique en train de se faire et de se dire, un "savoir" en train de se construire » (*Ibid.* p. 38). De ce fait, elle peut répondre au double objectif d'être des « activités de production de connaissances et de développement professionnel » (Desgagné, 1997, p. 376) : elle va à la fois permettre à l'enseignant de réfléchir à sa pratique et peut-être d'y apporter des ajustements et, elle va fournir à la chercheuse un matériau à analyser dans une perspective de production de savoir en didactique des sciences.

3.5.2.1 Groupe focalisé n° 1 : Planifier et préciser notre projet commun

L'étape de cosituation (Desgagné et coll., 2001) s'amorce, en fait, lors de la rencontre préparatoire en mai 2013 à laquelle sont conviés plusieurs enseignants des différentes écoles secondaires de la même commission scolaire, sur une invitation lancée par la chercheuse, avec l'appui du conseiller pédagogique. Lors de cette réunion, les grandes lignes de la recherche et les implications résultant d'une éventuelle participation sont abordées avec les enseignants présents. C'est à la suite de cette présentation que quatre d'entre eux ont décidé de s'engager aux côtés de la chercheuse dans ce projet commun sur la modélisation. Cette rencontre préliminaire a donc permis de jeter les bases du contrat et du travail collaboratif envisagé.

Puis, les enjeux du projet collaboratif se précisent lors du premier groupe focalisé. À ce moment-là, les centres d'intérêt commun et les prémisses du matériau à analyser s'élaborent : « le moment essentiel de la coconstruction sera ce moment de rencontre où se coconstituent les données de la recherche dans l'interaction entre les chercheurs et les praticiens » (Desgagné, 2007, p. 91). Les participants négocient en fait « une sorte de contrat de communication pour orienter le sens de leurs interactions et de leur réflexion » (*Ibid.*) Cette première rencontre affirme les bases d'une culture commune nécessaire en recherche collaborative (Desgagné, 2007) afin de parvenir à une compréhension partagée des visées éducatives de cet enseignement et de cerner ce qui est important selon les enseignants dans l'enseignement de S&T. Ceci amène aussi à clarifier les concepts sur lesquels nous travaillons dans le but de parler un langage commun (concret, abstrait, modèle, démarche de modélisation, etc.). En effet, dans la perspective collaborative qui est la nôtre, une « zone de rencontre entre chercheur et enseignants » doit s'installer autour des situations d'apprentissage (Bednarz, 2004, p. 173). De plus, dans une recherche en didactique, il y a lieu de constituer un milieu pour l'étude de façon à organiser un réseau épistémique, un réseau de savoirs, servant d'arrière-plan utile à situer le sens des concepts théoriques (Sensevy, 2011d).

Il est dans cette optique intéressant d'examiner, lors du premier groupe focalisé, la manière dont les enseignants abordent ce va-et-vient entre le concret et l'abstrait à l'aide d'une entrevue semi-dirigée soutenue par un questionnement judicieux (Annexes A et B). Les enseignants sont invités à s'exprimer sur leur pratique et la façon dont ils perçoivent les modèles et la démarche de modélisation. Ensuite, au regard des institutions dont les règles jalonnent l'activité de l'enseignant (Sensevy, 2011d), il y a lieu de réfléchir à la démarche de modélisation telle qu'elle est préconisée dans le PFEQ (MELS, 2007). Puis, il apparaît nécessaire de recueillir le témoignage des enseignants sur la manière dont ils envisagent et abordent cette démarche dans leur pratique d'enseignement. C'est dans ce contexte que nous appréhendons des données sur les pratiques déclarées des praticiens. Nous en profitons pour partager leurs témoignages sur ce qu'ils jugent être leur meilleure stratégie d'enseignement autour de la modélisation. Celle-ci fait alors l'objet de la première séance d'observation.

3.5.2.2 Observation n° 1 : Prendre le pouls de ce qui se fait en classe, au regard des modèles et de la démarche de modélisation

La deuxième étape vise une observation en classe, non filmée, mais enregistrée de manière audio. Elle permet d'accéder aux pratiques effectives de l'enseignant. La chercheuse observe les enseignants en classe, mais au sens que donnent Postic et De Ketele (1988) au verbe « observer » : celui de se concentrer sur une situation donnée et d'analyser sa dynamique interne. L'observation implique l'activité du chercheur qui « observe personnellement et de manière prolongée des situations et des comportements auxquels il s'intéresse » (Chapoulie, 1984, cité dans Savoie-Zajc, 2004a, p. 135). L'observation est donc nécessairement participante dans cette volonté de pénétrer au cœur de la pratique d'enseignement liée à l'utilisation des modèles et de la démarche de modélisation, dans le but de comprendre le phénomène en profondeur. Dans ce contexte, la chercheuse peut au besoin demander une précision à

un élève. Ainsi, la compréhension des pratiques d'enseignement qui se construit au cours du processus de recherche n'est pas limitée aux catégories utilisées par les enseignants parlant de leurs pratiques. Quelques éléments d'observation sont structurés à l'aide d'une grille prédéterminée (Annexes C et D) afin d'aider la chercheuse dans le repérage de certaines catégories. Pour rester ouverte à la dynamique de la situation, les données recueillies le sont à l'aide d'enregistrements audio, de photos, de notes audio (descriptives, méthodologiques et théoriques) jointes au journal de bord. Cette observation a pour but d'identifier certaines pratiques effectives des enseignants relatives à l'enseignement de la modélisation.

3.5.2.3 Groupe focalisé n° 2 : Partager un cadre de référence et planifier conjointement des ajustements de pratique

La deuxième rencontre permet de discuter de ce qui s'est fait, d'essayer et de planifier des stratégies à mettre à l'essai. Cette discussion se fait, à nouveau, dans le contexte d'un groupe focalisé soutenu par une entrevue semi-dirigée (Annexes E et F). Entre autres, elle est l'occasion de mettre au point la deuxième situation d'observation. Plus exploratoire, cette séance d'observation doit permettre de mettre en œuvre une situation d'enseignement basée sur l'enseignement de la démarche de modélisation et non pas uniquement construite autour de l'utilisation de quelques modèles (Martinand, 1994b). Une enseignante qui partage cette séance met en place, avec ses élèves, une situation d'apprentissage choisie par elle et envisagée en collaboration avec le groupe chercheuse-enseignants.

3.5.2.4 Observation n° 2 : Mettre à l'essai certaines stratégies pour articuler le concret et l'abstrait et envisager des ajustements de pratique au regard des modèles et de la démarche de modélisation

La chercheuse est immergée dans cette séance. Elle est amenée à en observer la dynamique interne par le repérage de quelques moments clés (épisodes) : 1) la mise en situation; 2) les actions de l'enseignant; et 3) les interactions qui auront lieu au sein

de la classe (Annexes G et H). Le but est de mettre en évidence les moyens concrètement mis en œuvre pour faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement de S&T. La volonté est encore d'apprécier dans quelle mesure les modèles et la démarche de modélisation peuvent favoriser cette médiation entre le concret et l'abstrait. Là encore, les enregistrements audio, les photos, les notes audio (descriptives, méthodologiques et théoriques) et les mémos du journal de bord sont les principales ressources utilisées par la chercheuse pour capter cette pratique en cours. Des précisions peuvent être demandées aux différents acteurs (élèves et enseignante) afin d'éclairer un point particulier et d'apporter une compréhension plus fine du phénomène.

3.5.2.5 Groupe focalisé n° 3 : Faire le bilan de nos réalisations

Une rencontre bilan, en groupe focalisé soutenu par une entrevue semi-dirigée (Annexes I et J), permet de faire un retour réflexif sur les réalisations conjointes liées à la démarche de modélisation afin d'en apprécier l'intérêt et la viabilité en contexte. Cette démarche favorise-t-elle, selon les enseignants, l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement de S&T? Peut-elle être de ce fait utilisée pour faciliter l'apprentissage des élèves dans une discipline reconnue comme difficile? Des discussions sur la manière dont la démarche de modélisation peut être envisagée dans l'enseignement de S&T sont engagées. Elles permettent aussi de recueillir les attentes et les impressions des enseignants à l'égard de la communauté dans laquelle ils ont été engagés.

3.6 Organisation des données

Pour répondre au double critère de rigueur et de transparence (Gohier, 2004), il y a lieu d'organiser les données recueillies lors des différents groupes de discussion et des observations en classe (Mukamurera, Lacourse & Couturier, 2006). Comme Le

Hénaff (2010), nous distinguons de ce fait deux types de données. Les données primaires sont récoltées sur le terrain. Elles regroupent : 1) les enregistrements audio des groupes de discussion et des observations en classe; 2) les documents partagés par les enseignants; et 3) les notes et photos prises durant les observations en classe. Ces données primaires subissent un premier traitement et donnent ainsi naissance aux données secondaires, « extensions des données primaires » (Le Hénaff, 2010, p. 3). Les données secondaires sont constituées : 1) des verbatims obtenus à partir des enregistrements audio; 2) du journal de bord de la chercheuse; et 3) des canevas et synopsis de l'action. Le journal de bord est considéré comme une donnée secondaire puisqu'il fait déjà l'objet d'une réflexion et d'une interprétation de l'action et de la démarche de recherche. Il offre en quelque sorte un « regard sur ». Or, ce regard possède déjà une portée interprétative.

Pour structurer les données secondaires, les enregistrements sont écoutés et transcrits en verbatim. Le journal de bord, les photos et les documents obtenus lors des observations en classe font l'objet de lectures et d'examen approfondis dans le but de bâtir le corpus servant à l'analyse selon différentes étapes. Tout d'abord, l'écoute des enregistrements et leur transcription en verbatim permettent de s'imprégner des données et d'effectuer des premiers choix. Ensuite, le canevas de l'action est élaboré par découpage de la séquence d'enseignement (Haller, Jacquin, Schneuwly & Ronveaux, 2005) afin de décrire et comprendre les pratiques d'enseignement (Blaser, 2009). Ce découpage s'inspire de la structure théâtrale en actes, scènes et épisodes (Sensevy, 2011d). Puis, la construction d'un synopsis de l'action est envisagée par réduction des données. Il fait ressortir les épisodes relatifs aux modèles et démarches de modélisation. Le résultat d'un tel travail aboutit à la construction de tableaux synoptiques de l'action qui présentent celle-ci de manière synthétique. Ces tableaux sont construits en utilisant différentes catégories permettant d'analyser les pratiques d'enseignement à propos des modèles et la démarche de modélisation.

3.7. Analyse des données

Nous allons ici aborder les différents temps qui jalonnent et organisent l'analyse des données. Une telle formalisation est envisagée dans un but pratique d'organisation, mais aussi dans une volonté de transparence, nécessaire à la validité de la recherche (Mukamurera et coll., 2006). Différentes étapes balisent ce travail d'analyse. Cependant, ce processus ne se veut ni linéaire ni séquentiel, mais bien itératif, le but étant plutôt de l'envisager en termes d'opérations « à réaliser dans une fécondité réciproque » (Hasni, 2001, p.21).

L'analyse des données correspond au moment de la recherche où la chercheuse s'interroge sur le sens des données recueillies (Savoie-Zajc, 2004a). La posture de recherche collaborative dans laquelle nous nous plaçons nous amène à adopter naturellement une grande ouverture dans cette analyse. En effet, la collecte des informations sur le terrain par l'intermédiaire de rencontres et d'observations participantes est ouverte et située en contexte dans la vie des acteurs (Paillé & Mucchielli, 2008). Le type de données recueillies nous engage sur la voie d'une analyse qualitative, dont les enjeux sont ceux d'une démarche discursive et signifiante de reformulation, d'explicitation ou de théorisation de témoignages, d'expériences ou de pratiques (Mukamurera et coll., 2006) qui permet de repérer et de mettre en évidence des énoncés significatifs liés à des pratiques d'enseignement relatives aux modèles et à la démarche de modélisation. L'analyse des observations met en exergue les intentions en action, tandis que les entretiens avec les enseignants permettent d'envisager les intentions liées à l'action. La validité de la description est éprouvée par la lecture que les enseignants font de cette description qui est discutée lors des groupes focalisés. Ils doivent pouvoir s'y retrouver et s'y reconnaître.

Les données secondaires sont exploitées selon une méthodologie inspirée de l'analyse de contenu (Bardin, 2007). L'analyse de contenu vue comme « un ensemble de

techniques d'analyse des communications » (Bardin, 2007, p. 35) permet de travailler sur des discours très diversifiés. Il découle du travail du chercheur « un effort d'interprétation qui se balance entre deux pôles, d'une part, la rigueur de l'objectivité, et, d'autre part, la fécondité de la subjectivité » (Wanlin, 2007, p. 249). Selon l'auteur, deux phases peuvent être distinguées afin de mener à bien l'organisation de l'information, soit 1) une étape de préanalyse structurée notamment autour de l'écoute des enregistrements et de la lecture des verbatims; puis 2) une étape d'exploitation du matériel afin de construire les canevas et les synopsis de l'action. Ces deux premières étapes d'organisation visent à « acquérir une vue d'ensemble du matériel recueilli, se familiariser avec ses différentes particularités [...], pressentir le type d'unités informationnelles à retenir pour une classification ultérieure et la manière de les découper en énoncés spécifiques » (L'Écuyer, 1987, p. 73).

Les deux premières étapes sont suivies d'une troisième étape de traitement et d'interprétation faisant partie de l'analyse des données proprement dite, qui se concrétise dans la construction des tableaux synoptiques. Il s'agit donc de lire et relire les données afin d'en saisir le message apparent (Savoie-Zajc, 2000) et de sélectionner les documents pertinents avec l'objet de recherche. Le matériel est ensuite préparé. Il subit alors une décontextualisation (Wanlin, 2007) lors de laquelle des sections d'échanges durant les groupes de discussion ainsi que des extraits des observations sont détachés de l'ensemble et regroupés en thèmes (Savoie-Zajc, 2000; Tesch, 1990; Wanlin, 2007). Tout au long de ce travail, les éléments du cadre théorique servent de balises structurantes (Savoie-Zajc, 2004a) afin de répondre aux visées de la recherche.

3.7.1 Analyse des données issues des groupes focalisés

Avant de se lancer à l'analyse proprement dite, il est nécessaire de passer par une étape de préanalyse qui consiste en une écoute des enregistrements, conduisant à leur

transcription. Cette écoute, que l'on peut qualifier de flottante (Ndayizamba, 2015), permet de s'imprégner des conversations et de faire émerger quelques impressions générales notées sur des mémos et qui peuvent orienter le travail d'analyse.

Les enregistrements sont ensuite transcrits en verbatim. La transcription verbatim des conversations enregistrées lors des groupes focalisés correspond à une réduction que Paillé et Mucchielli (2008) qualifient de transcription-traduction. Ce processus de réduction des données correspond à un ensemble de procédures visant à donner un sens au corpus de données brutes, et donc complexes, issues de nos verbatims. Ces verbatim font l'objet d'une lecture flottante (Bardin, 2007) durant laquelle des remarques sont notées en marge afin de préciser certains points ou au contraire de souligner des éléments nécessitant des éclaircissements pouvant conduire à une réécoute attentive des enregistrements. Les repères temporels sont indiqués pour justement faciliter le retour aux enregistrements, qui comportent des indications précises qui pourraient être omises dans les verbatims, ou bien mal interprétées lors de la transcription. Cette lecture permet de s'imprégner des données et rend possible le repérage d'indices ainsi que la recherche de significations qui sont un début de catégorisation (Blais et Martineau, 2006). Les notes et mémos du journal de bord viennent compléter cette transcription en donnant des indications intéressantes sur l'état d'esprit, la réaction particulière d'un participant, ou tout événement pouvant influencer sur le cours des entretiens, mais qui peut parfois être difficilement capté par un enregistrement audio.

Par ailleurs, une situation d'analyse étant une situation de recherche, l'analyse du corpus se situe à l'intérieur d'un cadre de recherche (Paillé & Mucchielli, 2008) dont les balises théoriques sont fixées par notre cadre théorique. Ainsi, nous positionnons notre travail dans une logique « inductive modérée » (Savoie-Zajc, 2004a) pour laquelle nous reconnaissons la place et l'influence du cadre théorique dans l'analyse des données. Cette approche générale d'analyse est en accord avec la nature

exploratoire de notre recherche (Blais & Martineau, 2006; Thomas, 2003), puisque nous voulons saisir le sens des données recueillies (Savoie-Zajc, 2004a). Nous adhérons par ailleurs, à la perspective de Paillé et Mucchielli (2008) pour qui tout travail d'analyse qualitative passe par une forme de thématisation, que nous voyons ici comme une opération préliminaire à notre analyse proprement dite. La volonté est de donner du sens aux données primaires afin de faire des choix. Blais et Martineau (2006) précisent la notion de sens qui peut renvoyer à deux approches. L'une cognitive, l'autre phénoménologique. Notre posture et nos choix méthodologiques nous amènent à considérer la démarche phénoménologique « qui vise à comprendre le sens que le sujet projette sur le monde » (*Ibid.* p. 3). Il s'agit, dans le cadre de notre recherche, de saisir le sens que l'enseignant donne à sa pratique, pour ce qui concerne la démarche de modélisation et l'enseignement de S&T.

Dans cette perspective, si l'étape de préanalyse est dominée par les intuitions, qui relèvent du travail inconscient de la pensée, elle n'est pas pour autant le fruit du hasard (Deslauriers, 1991) puisqu'elle est structurée par les dimensions qui se dégagent de notre cadre théorique. Nos efforts sont donc axés vers la découverte de liens à travers les faits accumulés (*Ibid.*) afin de dégager l'apport des modèles et de la démarche de modélisation au regard de l'articulation du concret et de l'abstrait en enseignement de S&T au 2^{ème} cycle du secondaire. De plus, afin d'alimenter les réflexions, une analyse, même sommaire, suit rapidement chaque collecte. Les thèmes ainsi dégagés permettent d'orienter les discussions qui ont lieu lors des groupes focalisés et d'apporter des éléments pouvant soutenir les observations en classe.

3.7.2 Analyse des données issues des observations en classe

Pour les observations en classe, nous disposons d'enregistrements audio, mais ceux-ci ne permettent pas de capter tout ce qui se passe en classe. Afin d'obtenir une

description riche et signifiante, il est nécessaire de croiser ensemble les verbatims des enregistrements audio, les données de la grille d'observation, les notes et mémos de la chercheuse qui sont dictés en cours de séance, les photos prises durant l'observation et les documents partagés par l'enseignant. Le cadre d'analyse construit pour cette recherche est issu de trois sources d'inspiration : 1) des travaux en didactique du français où les auteurs (Haller et coll., 2005) recentrent l'analyse des pratiques de classe sur l'objet d'enseignement en construisant un synopsis de l'action; 2) la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) (Sensevy, 2011d) qui modélise l'activité didactique sous forme de jeu; et 3) les travaux de la didactique des mathématiques (Brousseau, 1996; Comiti & Grenier, 1997) permettant l'analyse d'observation de l'action didactique dans des classes ordinaires.

Dans un premier temps, lors de la transcription des enregistrements audio en verbatim, des repères temporels sont indiqués afin de donner des indicateurs pour la structuration en termes d'actes, de scènes et d'épisodes particuliers. Il y a aussi lieu d'indiquer les silences et les ponctuations qui peuvent donner de précieuses indications sur le discours.

Dans un deuxième temps, nous effectuons un premier mouvement dans l'analyse. Les éléments du cadre théorique sont considérés comme des balises structurantes (Savoie-Zajc, 2004a) et nous orientent dans le travail de réduction opéré lors de l'élaboration du synopsis de l'action (Haller et coll., 2005). Nous rappelons ici les principaux concepts présentés : 1) les visées éducatives en S&T, 2) l'articulation du concret et de l'abstrait, 3) les modèles et la démarche de modélisation, 4) les stratégies d'enseignement, 5) les modèles et la démarche de modélisation dans le PFEQ, et 6) les ajustements de pratique. Il s'agit à cette étape de repérer les segments de discours dans le corpus des entretiens qui font émerger certains thèmes liés au cadre conceptuel.

Une troisième étape met en scène différents modes d'analyse en faisant appel à des observables (Comiti & Grenier 1997) au regard des modèles et de la démarche de modélisation. Ces observables sont complétés par une analyse génétique de l'action et par une analyse des régulations didactiques de l'action. À partir de ces deux analyses, nous construisons les tableaux synoptiques, qui offrent une présentation synthétique des résultats et favorisent l'identification des intentions venant soutenir le système stratégique de l'enseignant.

La quatrième étape permet de mettre en relation les données interprétées avec les objectifs de la recherche qui sont rappelés ci-dessous :

- Objectif 1 : Analyser les pratiques d'enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.
- Objectif 2 : Développer, avec les enseignants, des ajustements de pratique qui font appel à des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation afin de faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait.
- Objectif 3 : Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.

Enfin, la mise en relation précédente permet, lors de la dernière étape, de répondre à la question de recherche : Comment les modèles et la démarche de modélisation peuvent-ils contribuer à l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement des sciences et des technologies au 2^{ème} cycle du secondaire à travers différentes situations d'enseignement?

L'analyse des observations en classe nous amène ainsi à construire trois outils : 1) le canevas de l'action; 2) le synopsis de l'action; 3) les tableaux synoptiques.

3.7.2.1 Construction du canevas de l'action didactique

Le recours à la métaphore théâtrale (Sensevy, 2011d) permet de décrire et d'analyser l'action didactique ordinaire. Nous construisons ainsi le canevas de l'action didactique en découpant les séquences d'enseignement observées en actes, scènes et épisodes. Il s'agit d'une première phase d'analyse où la séquence d'enseignement observée est la matière première de notre réflexion (Sales Cordeiro, Schneuwly & Jacquin, 2005). Ce découpage fait ressortir la structure de l'action et le déroulement de cette dernière. Il est réalisé pour chaque observation en classe. Les canevas correspondants sont présentés en annexes (K, L, M et N). Le tableau ci-dessous présente la logique de cette structuration liée à la métaphore théâtrale inspirée de Sensevy (2011a).

Tableau 3.2 : Structuration en actes – scènes - tableaux d'après (Sensevy, 2011a)

Actes	Grandes divisions de la pratique, objectivables de manière uniquement visuelle Caractérisés par un changement d'activité ou de lieu
Scènes	Division des actes Emboîtées dans ceux-ci et homogènes à eux Objectivables de manière visuelle Aucun changement d'un acteur (arrivée ou sortie)
Épisodes	Interactions remarquables à l'intérieur d'une scène Identifiables seulement par l'analyse du contenu des interactions

Dans cette logique, « les "scènes didactiques" se délimitent en général par une "entrée en matière" – qui annonce la nouvelle scène et la démarque de la précédente, et par une conclusion » (Sensevy, 2011d, p. 134). Pour cerner cette structure, nous utilisons des éléments observables permettant de mettre en évidence des moments clos sur eux-mêmes et présentant une certaine logique. Ces observables sont relatifs aux savoirs en jeu, ainsi qu'aux perturbations et régulations de la situation didactique. Nous les présentons dans le tableau suivant :

Tableau 3.3 : Observables utilisés pour la construction du canevas de l'action

Observables liés à l'apprentissage du savoir en jeu	Observables liés aux perturbations et aux régulations de la situation didactique
Savoir en jeu/changement	Interventions de l'enseignant
Activité/changement	Interventions des élèves

En empruntant au langage théâtral, nous pouvons définir le canevas comme une sorte de schéma narratif qui décrit l'action en classe depuis la situation initiale jusqu'à la situation finale en prenant en considération ce qui devrait être l'action perturbatrice (ou la situation déclenchante), la dynamique de l'action et l'action résolutrice qui aboutit à la construction d'un nouveau savoir. Ce processus de découpage « est un travail d'appropriation active du sens de la séquence. Il se fait essentiellement sur le protocole de transcription » (Sales Cordeiro et coll., 2005, p. 3). Lorsque ce premier découpage est complété, un second mouvement dans l'analyse nous permet ensuite d'aller vers l'écriture du synopsis.

3.7.2.2 Construction du synopsis des observations en classe

Le synopsis tel que nous l'utilisons est un outil méthodologique « visant la description de pratiques scolaires effectives et la compréhension de la morphogenèse de l'objet enseigné » (Haller et coll., 2005). Il est un outil de transformation des données utilisé dans le but de réduire et organiser des données rendues ainsi lisibles et utilisables (Ronveaux, Gagnon, Aeby Daghe & Dolz-Mestre, 2013; Ronveaux & Schneuwly, 2007). Celles-ci peuvent ensuite « être traitées avec rigueur et efficacité » (Blaser, 2009, p. 119). Dans ce contexte

[l]a description de l'activité scolaire est rédigée sous forme de récit (avec des phrases complètes) qui crée une cohérence entre les éléments retenus pour faciliter la compréhension d'un lecteur n'ayant pas pris connaissance de la transcription et voulant avoir rapidement accès aux informations principales. (Haller et coll., 2005, p. 13)

S'il est appliqué à l'origine à des séquences filmées, « le synopsis est un outil qui offre beaucoup de potentiel pour le traitement et l'analyse des données : il est souple et peut s'adapter à de multiples contextes de recherche » (Blaser, 2009, p. 128). C'est ainsi que nous l'avons adapté au cadre théorique et à la méthodologie de notre recherche. Nous avons donc transformé en synopsis les enregistrements audio des séances observées en nous appuyant sur les verbatims de ces enregistrements, sur les notes prises lors des observations en classe, ainsi que sur les documents photographiés ou mis à notre disposition par l'enseignant.

Nous adhérons à la condition de réalisation du synopsis qui « repose sur l'acceptation de la possibilité de reformuler des informations tirées des transcriptions de séquences d'enseignement et des autres documents liés à cette séquence (manuel scolaire, notes de cours, productions d'élèves, photos, etc.) » (Blaser, 2009, p. 120). Par ailleurs, nous avons conservé la méthodologie d'élaboration en trois étapes et les caractéristiques essentielles décrites par Blaser (2009). Ces trois étapes sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 3.4 : Étapes de construction du synopsis de l'action

Étape 1	Premier découpage de la séance	Écoute des enregistrements en suivant les transcriptions verbatim réalisées au préalable
Étape 2	Réduction des données	Mise en forme dans un tableau à deux colonnes : – le compte-rendu intégral et les repères temporels – la réduction sous forme d'un récit cohérent
Étape 3	Première mise en forme du synopsis	Mise en forme dans un tableau où l'on retrouve : – les repères temporels – la réduction sous forme d'un récit cohérent – le repérage d'activités à propos des modèles et la modélisation

La construction du synopsis repose sur ces trois étapes qui impliquent « de fixer des critères de sélection d'éléments essentiels et de construire une sorte de macrosystème

renvoyant à un modèle ou système cohérent permettant de restituer la logique générale de l'activité enseignante » (Dolz, Ronveaux & Schneuwly, 2006, p. 178). Dans cette présentation, « l'ordre est fondamental pour comprendre la logique d'ensemble et les nœuds qui articulent les activités entre elles » (Ronveaux et coll., 2013, p. 221). Cette activité, pour nous, se rapporte à la conciliation du concret et de l'abstrait ainsi qu'à l'utilisation de modèles ou de démarches de modélisation.

Pour la première étape de découpage, nous nous appuyons sur le travail réalisé lors de la construction du canevas de l'action didactique. Ce découpage donne des repères dans la structure de l'action. Ensuite, à partir des verbatims, nous effectuons des choix dans le discours de l'enseignant, les remarques des élèves et le déroulement de la situation en classe (Comiti & Grenier, 1997). Ces choix sont guidés par les balises structurantes de notre cadre théorique. Cette démarche semi-inductive permet de repérer plus facilement les tâches scolaires (Sales Cordeiro et coll., 2005). Il s'agit d'un second mouvement dans l'analyse théorique qui conduit à l'élaboration d'un texte reconstruit de l'action et réduit l'information. Néanmoins, ce texte doit permettre de comprendre la structure de la séance observée (Ronveaux et coll., 2013; Sales Cordeiro et coll., 2005). Selon Sensevy (2011c), cette conceptualisation du contenu des actions permet d'identifier et de comprendre le jeu auquel jouent les individus et donc d'accéder à la pratique enseignante.

Le synopsis permet de réduire la masse de données et d'interpréter une action séquentialisée tout en hiérarchisant les informations recueillies (Sales Cordeiro et coll., 2005). Il s'agit d'un dispositif offrant plusieurs possibilités, dont celles de proposer « une forme d'unité à la pratique » (Sensevy, 2011a, p. 256), de rendre « contiguës des choses organiquement séparées dans l'action » (*Ibid.* p. 257), de permettre « la comparaison et la mise en relation des unités discrètes constituées » (*Ibid.* p. 257), de « s'approprier la pratique et de la faire approprier à autrui » (*Ibid.* p. 258), ou encore « de produire de premières conjectures relatives aux systèmes

intentionnels des agents » (*Ibid.* p. 258). Il se présente sous la forme d'un tableau mettant en parallèle le texte reconstruit et réduit de l'action avec les activités liées aux modèles et la démarche de modélisation.

Cependant, si le synopsis autorise à brosser à grands traits le jeu didactique, il n'autorise pas à identifier précisément les intentions de l'enseignant. Or, selon Sensevy (2011a), une bonne compréhension de la pratique passe par la compréhension des intentions de l'enseignant : décrire et caractériser les intentions permet donc d'analyser les comportements et les stratégies de l'enseignant :

L'idée fondamentale qui préside à la description empirique réside dans le fait que les descriptions doivent être produites dans le respect du sens de l'action pour l'agent. [...] il s'agit pour le chercheur de partir le plus possible des choses telles qu'elles sont. (Sensevy, 2011b, p.188)

La caractérisation des intentions de l'enseignant permet donc de comprendre les décisions de l'enseignant, puisque ce sont ces dernières qui soutiennent son système stratégique (Sensevy, 2011b) dont dépend sa pratique d'enseignement. Il convient alors d'adopter une analyse plus fine pour comprendre l'action de cet enseignant, en se penchant sur le repérage d'observables dans les interactions des actants. Pour cela, nous nous inspirons des travaux de Brousseau (1996) en didactique des mathématiques pour étudier le rôle de l'enseignant.

Nous prenons aussi exemple sur la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) (Sensevy, 2011d), dont la volonté est de décrire l'action didactique ordinaire. La TACD a recours au jeu « en tant qu'outil de description de la pratique, c'est-à-dire en tant qu'élément de constitution d'une théorie de la pratique. Dans cette perspective, le modèle du jeu a pour fonction de mieux comprendre et expliquer l'action humaine » (Sensevy, 2012, p. 105). La TACD fournit donc des outils de description de la pratique. Dans cette optique, deux types d'analyse structurent ensuite le travail qui suit et se complètent : une analyse de la genèse de l'action

(Sensevy, 2007) et une analyse des structures de la relation didactique (Brousseau, 1996). Ces éléments permettent de construire les tableaux synoptiques des séances observées et procurent au didacticien des outils d'analyse du corpus étudié.

3.7.2.3 Construction des tableaux synoptiques

La présentation sous forme de tableaux synoptiques s'inspire des travaux de Sensevy (2007, 2011d) et de Schubauer-Leoni, Leutenegger, Ligozat et Fluckiger (2007). Elle permet «une construction de sens pour dégager le fonctionnement du système didactique» (Schubauer-Leoni et coll., 2007, p. 13). Le choix de la présentation synoptique, sous forme de tableau, se justifie par la possibilité de «clarifier une pratique donnée par la mise en visibilité et en contiguïté de formes autrement "cachées" de cette pratique» (Sensevy, 2011a, p. 250). Selon l'auteur (2011a), «le principe synoptique consiste bien à "mettre ensemble" des faits dont la perception courante ne peut organiser le rapprochement» (p. 250). Cette présentation favorise donc un certain arrangement qui nous permet de faire surgir des éléments de la pratique en vue de les analyser (Glock, 2004). Il s'agit bien de dégager du corpus les régulations didactiques qui permettent d'entretenir ou de soutenir la relation didactique (Comiti & Grenier, 1997) qui lie l'enseignant, les élèves et le savoir en jeu. Un premier type de questionnement permet de capter la dynamique d'élaboration des savoirs au sein des transactions didactiques (Sensevy, 2011a). Il réside dans une analyse génétique de la situation d'enseignement et concerne trois niveaux de questionnement liés à la mésogenèse, la chronogenèse et la topogenèse (Chevallard, 1985; Sensevy, 2007; Sensevy et coll. 2000). Puis, la structure de la relation didactique est envisagée par l'intermédiaire des concepts de définition, dévolution, régulation, institutionnalisation du savoir (Sensevy, 2007; Sensevy et coll., 2000). De plus, les concepts de dévolution et d'institutionnalisation, qui renvoient à la manière dont le professeur engage et régule la relation didactique, sont de précieux indicateurs pour l'étude de la topogenèse (Sensevy et coll., 2000; Sensevy & Quilio, 2002).

Ensemble, ces éléments favorisent donc une analyse fine des pratiques d'enseignement en jeu dans les séances observées.

En résumé, le canevas s'inspire du théâtre pour définir l'action en actes, en scènes et en tableaux. Le synopsis propose un récit de l'action didactique observée, tandis que les tableaux synoptiques énumèrent les différentes tâches qui se succèdent lors de chaque observation. Dans ce contexte, si le canevas et le synopsis permettent de présenter les données afin de circonscrire des situations intéressantes au regard de l'usage des modèles et de la démarche de modélisation, les tableaux synoptiques donnent à voir une pratique d'enseignement. Les deux modes d'analyse sur lesquels ils sont construits sont en fait deux façons de questionner les données secondaires.

3.7.2.3.1 Mésogenèse, chronogenèse, topogenèse

L'analyse génétique favorise la description du jeu lié à la pratique enseignante. Cette analyse se concrétise dans une sorte de triptyque relatif à trois niveaux de questionnement : la mésogenèse, la chronogenèse et la topogenèse (Chevallard, 1991; Sensevy, 2007; Sensevy et coll., 2000). Ces différents questionnements permettent de capter la dynamique d'élaboration des savoirs au sein des transactions didactiques (Sensevy, 2011d).

La mésogenèse concerne la manière dont l'enseignant aménage le milieu et va décider de changer de jeu d'apprentissage. Elle correspond à des questionnements du type « quoi ou comment quoi? » (Sensevy, 2011d, p. 150). D'un point de vue pratique, l'analyse mésogénétique est obtenue en répondant à des questions du type : 1) Qu'est-ce qui permet de justifier l'utilisation d'un modèle? 2) Quel modèle est proposé et comment? 3) Qu'est-ce qui justifie l'évolution, le changement du modèle?

Pour sa part, la chronogenèse revient à considérer les moments charnières qui ont permis la construction des savoirs et l'évolution du jeu didactique ou son changement

(Sensevy, 2011d). Il s'agit de questionnements du type « quand ou comment quand? » (Sensevy, 2011d, p. 150). La description chronogénétique dépeint le fonctionnement du temps didactique (Santini, 2010). Ceci justifie, pour notre recherche, un questionnaire visant à faire ressortir des moments particuliers liés à l'utilisation des modèles : 1) Quand l'introduction du modèle est-elle rendue nécessaire et comment? 2) Quand le modèle envisagé ne paraît-il plus efficient? 3) Quand et comment la nécessité de faire évoluer/d'abandonner le modèle est-elle survenue? 4) Quand et comment la nécessité de construire un nouveau modèle a-t-elle été envisagée?

Enfin, la topogénèse permet de saisir le partage des activités dans l'action didactique, et de prendre en compte le rôle de chacun des actants : l'enseignant et l'élève (Sensevy, 2011d) à partir de questions du type « qui ou comment qui? » (Sensevy, 2011d, p. 150). La topogénèse décrit en fait les responsabilités relatives au savoir en jeu (Santini, 2010). Pour nous, elle correspond à des questionnements autour des actions des acteurs. Par exemple, 1) Qui a introduit le modèle et comment? 2) Qui a envisagé les limites du modèle utilisé? 3) Qui a proposé un nouveau modèle? 4) Qui s'engage sur la voie d'une démarche de modélisation et comment? Le tableau ci-après récapitule les éléments de l'analyse génétique que nous avons utilisés pour penser nos outils.

Tableau 3.5 : Analyse sous l'angle de la genèse

Mésogenèse	Quoi? ou Comment quoi? (Sensevy, 2011d)	1) Qu'est-ce qui permet de justifier l'utilisation d'un modèle? 2) Quel modèle est proposé et comment? 3) Qu'est-ce qui justifie l'évolution, le changement du modèle?
Chronogenèse	Quand? ou Comment quand? (Sensevy, 2011d)	4) Quand l'introduction du modèle est-elle rendue nécessaire et comment? 5) Quand le modèle envisagé ne paraît-il plus efficient? 6) Quand et comment la nécessité de faire évoluer/d'abandonner le modèle est-elle survenue? 7) Quand et comment la nécessité de construire un nouveau modèle a-t-elle était envisagée?
Topogenèse	Qui? ou Comment qui? (Sensevy, 2011d)	8) Qui a introduit le modèle et comment? 9) Qui a envisagé les limites du modèle utilisé? 10) Qui a proposé un nouveau modèle? 11) Qui s'engage sur la voie d'une démarche de modélisation et comment?

L'analyse génétique permet ainsi : 1) d'identifier les savoirs en jeu et de comprendre la manière dont évoluent les objets matériels ou symboliques auquel l'élève est confronté (mésogenèse); 2) de saisir les moments charnières qui ont permis l'évolution du jeu didactique et le passage d'un contenu épistémique à un autre (chronogenèse); et 3) de capter le partage des responsabilités relatives au savoir en jeu (topogenèse). Le jeu didactique et le savoir en jeu sont appréhendés relativement aux modèles et démarches de modélisation. Puis, afin d'obtenir une analyse rigoureuse, il est nécessaire de concevoir comment l'enseignant gère le jeu didactique en termes de définition, de dévolution, de régulation et d'institutionnalisation à l'aide de l'identification d'observables (Comiti & Grenier, 1997) dans les observations réalisées. Dans le cas de notre recherche, ces observables sont de deux types : 1) les observables à propos des modèles et les démarches de modélisation – modèles utilisés et démarches de modélisation mise en œuvre; 2) les observables à propos des perturbations et régulations de la situation didactique – interventions de l'enseignant

et des élèves – type d'interventions de l'enseignant (relance, questions, changement de tâche ou d'activité) – répartitions globales de ces interventions.

3.7.2.3.2 Définir, dévoluer, réguler, institutionnaliser

Pour comprendre la logique de l'action, la chercheuse doit repérer « les structures de la relation didactique » (Sensevy et coll. 2000, p. 266) qui transparaissent dans quatre éléments fondamentaux à l'action de l'enseignant (*Ibid.*) : définition, dévolution, régulation, institutionnalisation (Sensevy, 2007; Sensevy et coll., 2000). Comme nous l'avons énoncé précédemment, le jeu pour nous concerne les modèles et la démarche de modélisation et l'enjeu est relatif à la façon dont les élèves vont utiliser les modèles et s'approprier la démarche de modélisation. Le tableau suivant récapitule les questions qui guident notre analyse du jeu didactique dans les séances observées en fonction des observables précédemment évoqués.

Tableau 3.6 : Questions-guides pour analyser les observations en classe

- L'enseignant précise-t-il aux élèves qu'ils vont utiliser, manipuler, construire des modèles?
- L'enseignant explique-t-il aux élèves le rôle, le statut des modèles?
- L'enseignant incite-t-il les élèves à « jouer » avec les modèles?
- L'enseignant laisse-t-il les élèves utiliser, manipuler, construire, inventer des modèles?
- L'enseignant a-t-il recours aux modèles pour institutionnaliser le savoir envisagé?

Les tableaux synoptiques mettent ainsi en parallèle les structures de la relation didactique déterminées par les éléments fondamentaux de l'action de l'enseignant et les éléments de l'analyse génétique. Ils rendent alors possible l'identification de stratégies mises en œuvre par les enseignants pour concilier le concret et l'abstrait ainsi que l'émergence d'ajustements de pratique qui font appel à la démarche de modélisation.

Utilisées comme cadre de référence, la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy, 2011c, 2011d) et la théorie des situations didactiques permettent de décrire le jeu didactique dans la classe. Ces éléments donnent accès aux pratiques et aux stratégies mises en œuvre par les enseignants au regard de l'articulation du concret et de l'abstrait, et ainsi de produire une analyse fine des pratiques d'enseignement relatives aux modèles et démarches de modélisation.

3.7.2.4 Détermination de l'enjeu des activités de modélisation

En nous inspirant des travaux de Dorier et Burgermeister (2013) en didactique des mathématiques, nous utilisons une typologie à trois niveaux, élaborée par ces auteurs afin de dégager l'enjeu des activités de modélisation rencontrées lors des observations en classe. Le contexte est celui de l'enseignement des mathématiques et la modélisation y est définie comme la démarche permettant de « construire, discuter et étudier une correspondance entre deux (au moins) systèmes incluant des objets, des relations entre ces objets et des questions » (*Ibid.* p.7). Ceci est cohérent avec notre définition du modèle où les systèmes pouvant être mis en relation correspondent au champ expérimental de référence et au champ théorique dont le modèle est un représentant. Il peut aussi s'agir d'une mise en relation entre différents modèles. La figure suivante explique cette mise en relation :

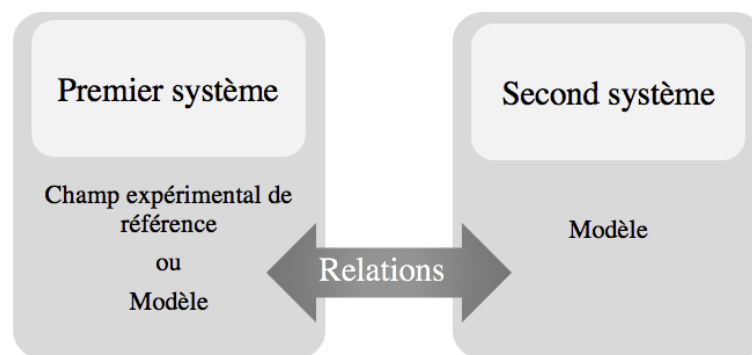


Figure 3.4 : Modèle de la modélisation selon Dorier et Burgermeister (2013)

Les auteurs proposent alors trois niveaux de modélisation. Cette typologie prend en considération la manière dont les deux systèmes sont abordés dans l'énoncé puis utilisés dans la résolution du problème. C'est ce que présente la figure suivante :

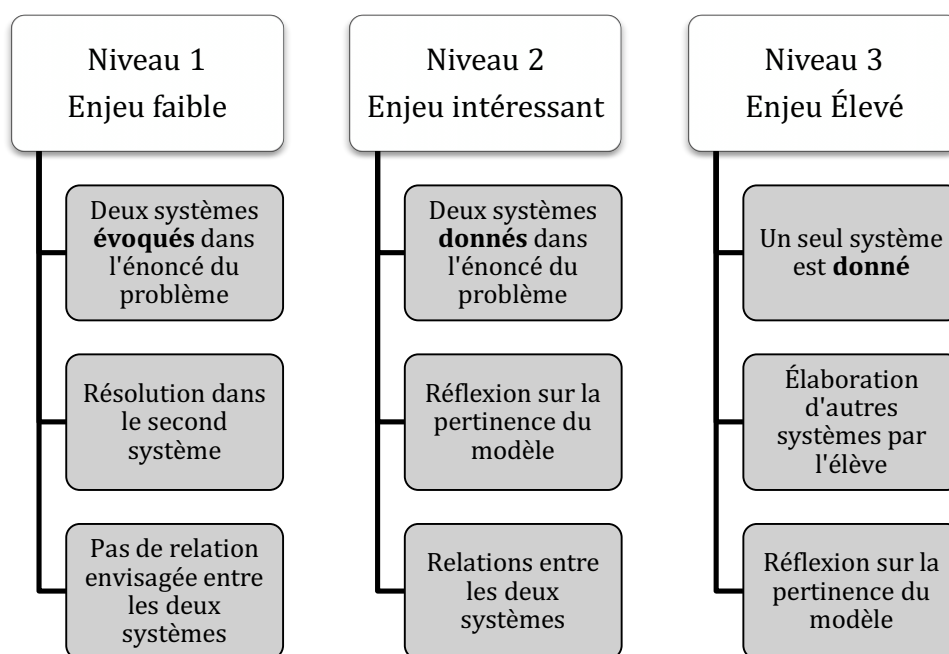


Figure 3.5 : Niveaux de complexité de la modélisation

Cette typologie a par ailleurs été adaptée à l'enseignement de la biologie par Primatesta et Kummer (2012) dans l'analyse de certaines activités de classe afin « d'amener l'enseignant à prendre conscience des enjeux et à s'interroger sur la nature du processus mis en œuvre par les élèves dans une activité particulière de modélisation » (*Ibid.* p.14).

Ce modèle de la modélisation permet donc d'interroger les activités de modélisation rencontrées et de questionner leur pertinence d'un point de vue didactique.

3.8 Devis méthodologique de la recherche

Les dispositifs de collecte de données sont résumés dans le schéma suivant :

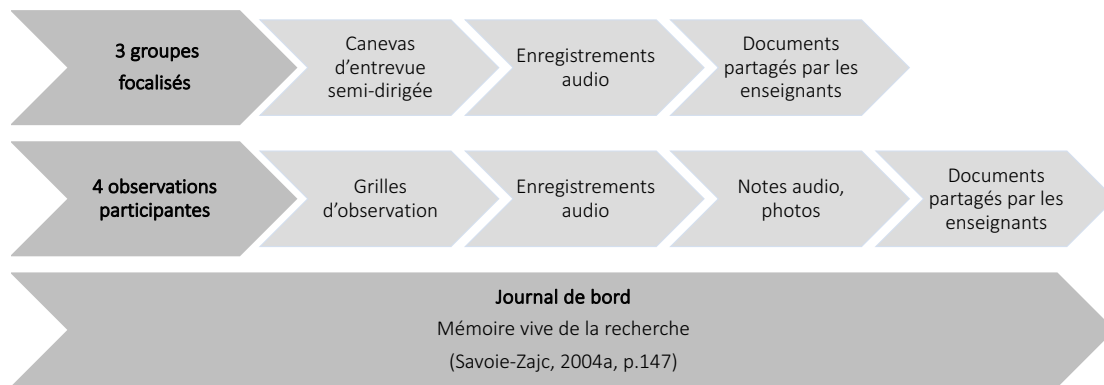


Figure 3.6 : Dispositifs de collecte de données

Les trois groupes focalisés permettent d'avoir accès aux pratiques déclarées des enseignants. L'analyse se fait selon une analyse de contenu inspirée de Bardin (2007). Les quatre observations participantes donnent accès aux pratiques effectives des enseignants. L'analyse de chaque séance observée suit le même *modus operandi* : 1) la transcription en verbatim; 2) la construction du canevas de l'action selon la métaphore théâtrale qui découpe l'action en actes, scènes et épisodes; 3) la construction du synopsis de l'action à partir des verbatims; 4) l'identification des activités à propos des modèles et la démarche de modélisation à partir du synopsis de l'action; 5) l'identification de la structure de l'action didactique en termes de régulation de cette action; et 6) l'analyse génétique de l'action par l'intermédiaire de trois niveaux de questionnement.

Le tableau ci-après représente le devis méthodologique de la recherche. Il met en parallèle notre question de recherche et les objectifs associés, les démarches inhérentes au processus de recherche collaborative, l'instrumentation mise en œuvre et l'analyse des données.

Tableau 3.7 : Devis méthodologique de la recherche

Problématique			
Utilisation de la démarche de modélisation dans l'enseignement de S&T au 2 ^{ème} cycle du secondaire – Absence de directives claires concernant l'utilisation de cette démarche.			
Problème de recherche			
Articulation du concret et de l'abstrait – Utilisation des modèles et de la démarche de modélisation			
Objet de la recherche			
Pratiques d'enseignement utilisées pour articuler le concret et l'abstrait dans l'enseignement de la modélisation en S&T. Ajustements de pratique pour faciliter le concret et l'abstrait en enseignement de S&T en recourant aux modèles et à la démarche de modélisation.			
Question de recherche		Cadre théorique	
Comment les modèles et la démarche de modélisation peuvent-ils contribuer à l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement des sciences et des technologies au 2 ^{ème} cycle du secondaire à travers différentes pratiques d'enseignement?		<ul style="list-style-type: none">– Visées de l'enseignement de S&T– Concret et abstrait– Modèles et démarche de modélisation– Modèle et démarches dans le PFEQ– Pratiques d'enseignement – Situation d'apprentissage– Stratégies d'enseignement– Ajustements de pratique– théorie de l'action conjointe en didactique	
Objectif général			
Travailler avec les enseignants afin d'explorer les pratiques qu'ils mettent en œuvre pour articuler le concret et l'abstrait et qui utilisent des modèles et des démarches de modélisation.			
Objectifs spécifiques	Balises théoriques	Collectes de données	Analyse
Objectif 1 Analyser les pratiques d'enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.	<ul style="list-style-type: none">– Modèles et démarche de modélisation– Modèles et démarches dans le PFEQ– Situation d'apprentissage– Pratiques d'enseignement	<ul style="list-style-type: none">– Groupe focalisé– Journal de bord	Transcription en verbatim Analyse qualitative des traces écrites
Objectif 2 Développer, avec les enseignants, des ajustements de pratique qui font appel à des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation, afin de faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait.	<ul style="list-style-type: none">– Modèles et démarche de modélisation– Concret et abstrait– Situation d'apprentissage– Stratégies d'enseignement– Ajustements de pratique	<ul style="list-style-type: none">– Observations en classe– Groupe focalisé– Journal de bord	Construction d'un canevas et d'un synopsis de l'action de la séance observée Analyse sous l'angle de la genèse Analyse de la structure didactique de l'action
Objectif 3 Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.	<ul style="list-style-type: none">– Pratiques d'enseignement– Visées éducatives en S&T	<ul style="list-style-type: none">– Observations en classe– Groupe focalisé– Journal de bord	Construction de tableaux synoptiques

3.9 Critères d'ordre scientifique et d'ordre éthique de la recherche

Dans cette section, nous détaillons en quoi cette recherche répond aux exigences de rigueur méthodologique ainsi qu'aux critères éthiques et déontologiques que se doit de respecter toute recherche d'inspiration qualitative – interprétative.

3.9.1 Critères de rigueur méthodologique

Nous nous référons aux différents critères méthodologiques élaborés par plusieurs auteurs (Gohier, 2004; Karsenti & Savoie-Zajc, 2004; Laperrière, 1997; Savoie-Zajc, 2004a) : crédibilité, transférabilité, fiabilité et confirmation.

Le critère de crédibilité « consiste en une vérification de la plausibilité et de l'interprétation du phénomène étudié » (Savoie-Zajc, 2004a, p. 142). En ce qui nous concerne, cette vérification est assurée par des stratégies de triangulation qui se concrétise : 1) dans le recours à plusieurs modes de collecte de données (photos, enregistrements des groupes focalisés, prises de notes audio, grilles d'observation et enregistrements audio des observations en classe); 2) dans le recours à divers cadres d'analyse pour interpréter les données. Ainsi, la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1998), la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy, 2011d) et le modèle de la modélisation (Dorier & Burgermeister, 2013) sont utilisés pour analyser finement les données.

Le critère de transférabilité (Savoie-Zajc, 2004a) est assuré par la présentation du contexte de la recherche, des caractéristiques de l'échantillon et de tous les éléments offrant une description riche du terrain (Therriault, 2008). Dans cette optique, le journal de bord est un allié précieux qui nous a permis d'offrir un portrait substantiel du contexte de cette recherche.

Le critère de fiabilité porte sur la cohérence entre les objectifs de la recherche, son déroulement et les résultats obtenus (Savoie-Zajc, 2004a; Therriault, 2008). La triangulation des méthodes de collecte de données (Denzin, 1988; Mucchielli, 1996) permet de satisfaire ces critères, ce que nous avons évoqué précédemment. L'utilisation de divers dispositifs pour recueillir les pratiques déclarées et les pratiques effectives a notamment permis de faire des liens et des recoupements qui assurent la fiabilité des données et de la recherche.

Finalement, le critère de confirmation « renvoie au processus d'objectivation pendant et après la recherche » (Savoie-Zajc, 2004, p. 144). L'objectivation des données est assurée par la triangulation théorique qui fait appel à différents cadres théoriques pour interpréter les résultats (Therriault, 2008), ainsi que par la cohérence qui existe entre le cadre théorique, les outils de collecte de données et l'analyse des données qui est décrite avec précision.

3.9.2 Considérations éthiques et déontologiques

Afin de se conformer au code de déontologie de la recherche sur les sujets humains du doctorat en réseau de l'Université du Québec, les participants ayant accepté librement de participer à cette étude ont signé, avec la chercheuse, un formulaire de consentement (Appendice J). Ce formulaire précise la confidentialité des données envers laquelle s'engage la chercheuse et la possibilité pour chaque participant de se retirer à tout moment de cette recherche. Pour assurer la confidentialité des données, ces dernières ont été anonymisées puis traitées et analysées de manière confidentielle. Il y a aussi lieu de préciser que l'usage des enregistrements audio réalisés a été réservé à des fins de recherche uniquement et qu'il ne saurait en être autrement.

CHAPITRE 4

PRÉSENTATION DES DONNÉES

Les données recueillies sont organisées à l'aide du canevas et du synopsis de l'action, puis par l'intermédiaire des tableaux synoptiques. Le matériel ainsi organisé peut alors être exploité dans une deuxième phase, centrale, qui permet d'accéder à une signification permettant de répondre à la problématique envisagée, sans dénaturer le contenu initial (Robert & Bouillaguet, 1997).

Dans ce qui suit, nous envisageons quelles sont stratégies utilisées par les enseignants pour concilier le concret et l'abstrait. Nous décrivons ensuite des situations d'enseignement mises en œuvre par les enseignants utilisant les modèles et la démarche de modélisation. Puis, nous présentons les ajustements de pratique évoqués par les enseignants pour faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait utilisant un enseignement basé sur les modèles et la démarche de modélisation.

Tout d'abord, nous récapitulons dans le tableau de la page suivante la provenance des différentes données recueillies.

Tableau 4.1 : Opérationnalisation de la collecte de données

Opérationnalisation	Date	Thème de la séance	Données primaires
Groupe de discussion n° 1	2013-10-23	Planifier et préciser notre projet commun	– Enregistrements – Documents partagés
Observation n° 1-a	2014-01-17	Construction d'un simulateur du péristaltisme	– Enregistrements – Photos – Notes du journal de bord – Documents pédagogiques
Observation n° 1-b	2014-01-20	Construction d'un simulateur du péristaltisme	– <i>Verbatim</i> – Photos – Documents pédagogiques
Observation n° 2	2014-01-31	Laboratoire sur les pluies acides	– Enregistrements – Photos – Notes du journal de bord – Documents pédagogiques
Observation n° 3	2014-01-31	Laboratoire sur les coacervats	– Enregistrements – Photos – Documents pédagogiques
Groupe de discussion n° 2	2014-02-10	Partager un cadre de référence et planifier	– Enregistrements – Notes du journal de bord – Documents partagés
Observation n° 4	2014-03-14	Séance d'électrocinétique	– Enregistrements – Photos – Documents pédagogiques
Groupe de discussion n° 3	2014-05-06	Faire le bilan de nos réalisations	– Enregistrements – Documents partagés

4.1 Stratégies d'enseignement pour concilier le concret et l'abstrait

Afin d'identifier des stratégies d'enseignement pour concilier le concret et l'abstrait, les différents verbatims des groupes focalisés et synopsis des observations en classe ont été explorés. La volonté est de saisir et comprendre des stratégies d'enseignement décrites par les enseignants lors des groupes focalisés, ou de les appréhender telles qu'elles se sont dévoilées à la chercheuse lors des observations en classe. La chronologie de la collecte de données n'est donc pas respectée dans un premier temps, mais les données sont envisagées de manière longitudinale, avec l'idée d'observer des changements dans le discours des enseignants au regard des modèles et de la démarche de modélisation. La deuxième phase d'organisation a permis de construire cinq catégories ou thèmes relatifs aux stratégies d'enseignement pour concilier le concret et l'abstrait. Comme suite à ce travail, ces catégories ont été utilisées pour procéder à une relecture du corpus afin de compléter la grille d'analyse et d'enrichir ces mêmes catégories.

Pour articuler le concret et l'abstrait, les enseignants (E, dans les extraits de verbatim) ont recours à différentes stratégies. Ils évoquent des schémas, des dessins, des « gribouillis », des exemples, des vulgarisations, des simulations, des expérimentations de laboratoire, des vidéos, des démonstrations. Nous allons entrevoir dans ce qui suit les stratégies évoquées par les enseignants que nous avons regroupées dans les catégories suivantes, à savoir le recours 1) au graphisme, 2) à la comparaison, 3) aux maquettes et à la technologie, 4) aux montages expérimentaux, et 5) aux équations-bilans de transformations chimiques.

4.1.1 Recours au graphisme

Le recours au graphisme englobe ce que les enseignants évoquent en utilisant une terminologie variée : dessins, schémas, croquis et courbes. La distinction que nous établissons entre dessin, croquis ou schéma s'appuie sur les différentes

représentations en sciences, allant du plus figuratif et descriptif vers le plus abstrait et explicatif (Woerther, 2015). Ainsi, le dessin représente l'objet le plus fidèlement possible. Le croquis n'en donne que les grandes lignes dans une représentation simplifiée, mais exacte d'une observation. Par contre, le schéma est une représentation modifiée, une reconstruction du réel, bien souvent symbolique de l'objet observé. Il permet de mettre en évidence les éléments essentiels retenus dans le contexte particulier d'une observation ainsi que les relations que ces éléments entretiennent entre eux (*Ibid.*). Ainsi, au sein de notre échantillonnage, on retrouve les dessins que les enseignants évoquent.

E1 : Moi, je sais que quand je leur enseigne, je leur dis qu'un modèle, ça permet d'expliquer quelque chose que tu ne peux pas voir.
Sauf qu'on n'y passe pas trois jours, là, c'est dit et on passe à autre chose. On leur fait des dessins, mais on ne leur dit pas « voici l'histoire des modèles ».

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 58 min]

Certaines représentations sont aussi rapidement esquissées au tableau pour expliquer un phénomène. Ci-dessous, l'enseignante a représenté un schéma en guise de rappel de l'effet de serre.

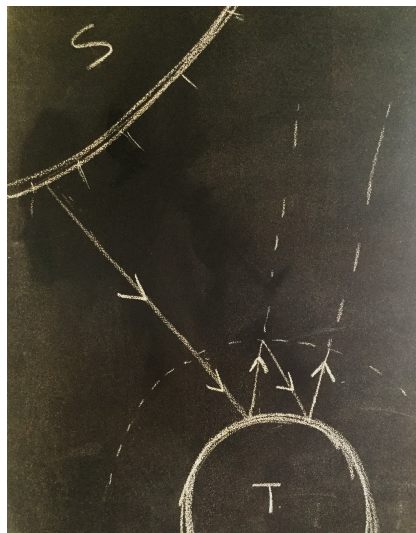


Figure 4.1 : Schéma représentant l'effet de serre – Obs. n° 2 - 2014-01-31

Les élèves ont déjà vu dans leur manuel didactique (Cyr, Verreault & Forget, 2008, p. 233), lors d'une séance précédente, une telle représentation sous la forme d'un schéma avec des légendes à compléter, comme ci-après, dans leur cahier d'apprentissage (Cyr & Verreault, 2008, p. 171) :

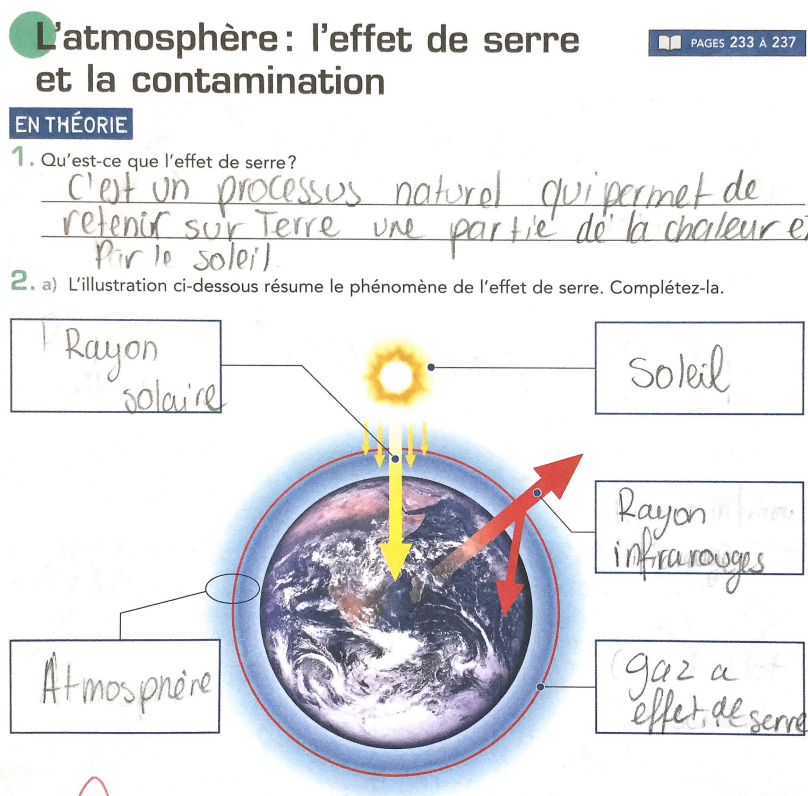


Figure 4.2 : Schéma représentant l'effet de serre – Obs. n° 2 - 2014-01-31

On retrouve aussi l'évocation par les enseignants de schémas d'élèves. Dans l'extrait ci-après, la représentation d'une cellule est abordée, ainsi que la limite du trait plein dans l'explication du phénomène d'osmose. L'évolution vers un trait pointillé qui figurerait la membrane cellulaire est suggérée par un enseignant. Cette modification permettrait alors d'envisager les échanges et de ne plus montrer la cellule comme possédant une barrière étanche. C'est ici le caractère modifiable et évolutif du modèle qui est mis en avant.

Conseiller pédagogique (CP) : Quand on parle d'osmose dans la cellule, si l'élève a **dessiné un trait plein, qu'est-ce qu'on fait?**

Plusieurs : Non, ça marche plus. Ça ne peut ni entrer ni sortir.

E3 : Donc là, il faudrait qu'ils modifient leur dessin, n'est-ce pas?

E4 : Oui, avec des traits pointillés.

E1 : En fait, tu pourrais leur faire dessiner une cellule au début, et à chaque fois que tu enseignes, tu les fais réfléchir à « **comment modifier ton dessin?** ». **Comme une bande dessinée avec le modèle qui évolue.** Tu rajoutes quelque chose avec la nouvelle notion que l'on vient de dire.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° – 2014-05-06 – [0 h 8 min]

Les enseignants (E, dans les extraits de verbatim) ont aussi recours aux schémas présents dans les manuels didactiques. Cet extrait fait suite à une discussion relative à un outil (Amato-Imboden et coll., 2012) distribué aux enseignants lors du deuxième groupe focalisé. Il s'agit d'une grille d'analyse des niveaux de modélisation (Annexe O), à deux dimensions qui permet de situer les activités de modélisation en fonction des différents rôles du modèle : décrire, expliquer ou prédire. Cette grille proposée initialement dans le contexte de la biologie est cependant transférable aux autres disciplines scientifiques.

CP : Une question pour le secondaire 3, sur les réseaux trophiques. **On est dans le niveau 3 de modélisation.** C'est vraiment complexe en fait comme question. On est **au niveau de prédire et décider.**

E collégial : Mais oui bien sûr. On leur pose des questions difficiles.

Chercheuse (C) : Oui, tu es dans le plus haut niveau du modèle. C'est sa fonction ultime : prédire et décider.

E1 : C'est comme dans le cycle de l'azote et du carbone. C'est pareil, tu leur demandes ce qui se passe si des bactéries ne sont plus là? **En fait, tu leur demandes de faire des prédictions à partir d'un modèle.**

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 2 – 2014-02-10 – [0 h 12 min]

La représentation évoquée correspond au schéma présenté ci-après que les élèves ont à compléter et qui est extrait du manuel scolaire Observatoire – environnement (Cyr & Verreault, 2008, p. 187-188). Il décrit les différentes étapes du cycle de l'azote, alors que dans la discussion proposée dans l'extrait ci-dessus, les cycles biogéochimiques sont perçus comme pouvant permettre de faire des prédictions, ce

qui, nous l'avons vu, correspond à une des caractéristiques fondamentales des modèles.

4. Le schéma ci-dessous illustre le cycle de l'azote.

a) Complétez ce schéma à l'aide de la liste suivante. Certains éléments peuvent être utilisés plus d'une fois.

- | | | |
|--|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Absorption d'azote par les végétaux et les animaux | <input checked="" type="checkbox"/> Décomposition des déchets | <input checked="" type="checkbox"/> Fixation de l'azote dans le sol ou dans l'eau |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dénitrification | <input checked="" type="checkbox"/> Nitrification | |

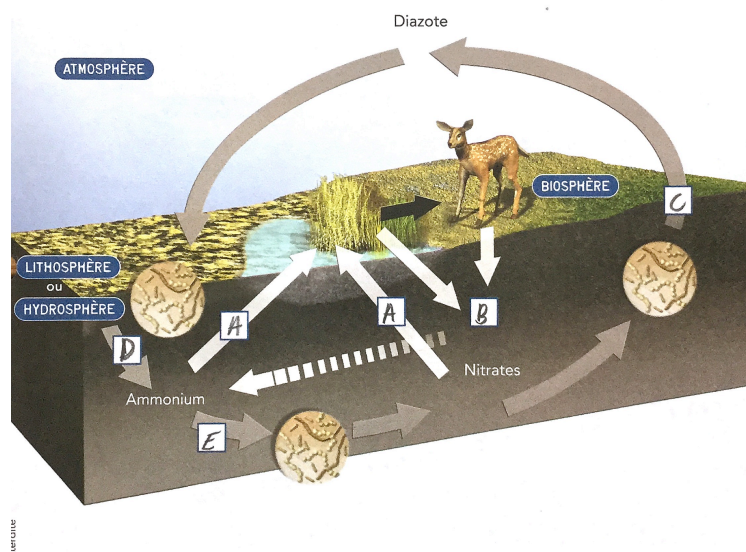


Figure 4.3 : Schéma représentant le cycle de l'azote – Obs. n° 2 - 2014-01-31

Toujours à la suite de la présentation de l'outil proposé par Amato-Imboden et coll. (2012), les enseignants prennent conscience qu'ils utilisent des graphiques et des courbes pour faire des prédictions.

E3 : Comme là, par exemple, « **faire un modèle** » : je dois faire un examen en 5^e secondaire. Le sujet c'est quelqu'un qui a mal à la gorge et les élèves doivent choisir un antibiotique. Ils ont de la théorie avec des courbes sur la croissance et je leur demande de me faire un graphique de l'évolution de la population de streptocoques dans la gorge. **En fait, c'est un modèle que je leur demande d'utiliser et de construire, n'est-ce pas?**

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 2 – 2014-02-10 – [0 h 14 min]

Les graphiques, les schémas, les croquis ou les dessins font donc partie des stratégies utilisées par les enseignants pour illustrer des phénomènes abstraits. Il reste à explorer comment ils sont utilisés et exposés aux élèves afin de déterminer s'ils sont présentés comme des modèles mis en œuvre pour articuler le concret et l'abstrait et ainsi faciliter cette articulation. Sont-ils vus comme des objets figés ou bien des objets négociables et modifiables utilisés pour certains problèmes et pour certains contextes (Martinand, 2010)?

4.1.2 Recours à la comparaison

Certains enseignants témoignent de métaphores ou d'analogies qu'ils utilisent pour expliquer des phénomènes abstraits aux élèves. Il y a, par exemple, la métaphore « des pas dans la neige ».

E4 : Oui, parce que **personne n'a jamais vu d'atomes**. Mais, les élèves ils disent : « oui, mais alors, comment vous faites pour nous expliquer ça si personne n'a jamais vu d'atomes? » Là, je leur dis qu'il y a des preuves, des traces « **comme si tu vois les pas dans la neige, tu sais que quelqu'un est passé là, tu es sûr, là.** »

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 10 min]

On trouve sous-jacent à cet extrait des notions épistémologiques liées au statut des concepts, modèles ou théorie : personne n'ayant jamais touché ou directement vu d'atome, comment peut-on décrire ses caractéristiques? Il n'est en fait qu'un modèle accepté par la communauté scientifique et qui a évolué dans le temps. Il sera intéressant de relever, en relation avec notre cadre conceptuel, des éléments de cet ordre dans le discours des enseignants afin d'envisager l'utilisation qu'ils peuvent faire des modèles et de la démarche de modélisation au regard des considérations épistémologiques.

Une autre comparaison utilisée pour expliquer l'agitation thermique est celle de « l'agitation des élèves en classe ». Elle permet d'envisager les limites d'un tel

modèle qui permet de représenter l'agitation des molécules et de comprendre la notion de chaleur.

E2 : Parfois, **on va prendre des modèles et on dit « ce que je montre ce n'est pas l'idéal »**. On va parler de la température et d'agitation des molécules quand la température augmente, l'énergie fait en sorte d'activer les molécules, les atomes, et je dis, « **ça, c'est comme dans une classe, la température augmente si tout le monde bouge!** », mais là, il y a toujours un rigolo qui dit que l'on devient amorphe quand la température augmente!

C : Mais c'est bien. Tu en profites pour leur dire que « là, c'est la limite de mon modèle ».

E1 : Oh ça! Ils sont bons pour la trouver par exemple. Mais moi je leur dis « laisse tomber, j'ai pris ça **pour t'expliquer...** C'est un modèle **pour te faire comprendre** ». Mais, il y a toujours un comique pour t'expliquer le côté qui ne marche pas.

C : OK, donc tu dis, c'est un modèle pour te faire comprendre que...

E1 : Mais oui, **c'est un modèle, une image que je t'ai donnée pour t'aider**, mais c'est certain qu'elle n'est pas parfaite. Et ils sont énormément critiques là-dessus.

C : Mais ça c'est bien, non? Parce que parfois ce serait peut-être juste un petit ajustement dans le vocabulaire, juste insister un peu plus sur le modèle, ce qu'il va expliquer, ses limites, « ben oui, ça marche plus, et bien propose un autre modèle qui marche mieux, toi ». Renvoyer la balle à l'élève en fait. Le mettre un peu au défi.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 16 min]

Cette séquence illustre une fonction essentielle du modèle, celle de modèle pour comprendre (Amato-Imboden et coll., 2012). La notion de langage transparait à travers cet extrait, ce qui soulève une question récurrente sur laquelle nous reviendrons : celle de la précision et de l'explicitation du langage utilisé par l'enseignant. Une autre analogie, celle du chocolat en poudre, est évoquée pour expliquer la solubilité. Il s'agit d'une prise de conscience sur le recours fréquent à la modélisation en classe de S&T.

E1 : En fait, **on fait beaucoup de modélisation**. La science s'y prête énormément. Moi, **mon principal modèle c'est l'exemple**. La solubilité avec le Quick qui reste au fond, il y a plus de place... Je ramène ça à des images qu'ils ont.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 17 min]

L'analogie de la douzaine d'œufs utilisée pour expliquer le concept de mole, lors d'un échange sur des concepts relativement abstraits et qui représentent toujours une difficulté pour les élèves.

E (plusieurs) : Pour expliquer la mole, on se sert **de la douzaine d'œufs**. Un duo, un trio, une paire, une douzaine. Une mole, une quantité.
 E3 : Puis quand on n'est pas capable de résoudre un problème avec la mole, on revient à la douzaine. Combien de douzaines avec 36, 64?
 E2 : Moi ce que j'ai trouvé, en 3^e secondaire : les bases moléculaires, protons, neutrons, électrons! Quand on arrive avec l'atome de carbone à 12 g, est-ce que c'est logique? Avec la taille des particules. Alors je commence par annoncer la mole, comme une grande quantité et des chiffres à l'échelle humaine... on essaie de les préparer.
 E4 : « Madame, ça ne se peut pas qu'un atome d'hydrogène pèse 1 g ». Alors là, j'ai fait le lien avec la mole.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 23 min]

Toujours sur le registre de la matière, une autre enseignante témoigne de l'utilisation d'un aquarium rempli de sable pour faire comprendre et illustrer le fait que la matière est discontinue.

E4 : Un jour, j'ai vu un conférencier arriver avec un bocal plein de cailloux.
 « Le récipient est-il plein? » Tout le monde dit « ouiii! » et là il ajoute du sable... « Est-ce que le récipient est plein? » Tout le monde dit « ouiii! » Bon, il ajoute de l'eau... « Est-ce que le récipient est plein? » Tout le monde dit « ouiii! » C'est pour montrer que la matière est discontinue.
 C : Ça aussi c'est un modèle. Et vous la faites cette modélisation?
 E4 : Oui, quand je fais la dissolution. J'explique que le sel a l'air de disparaître, mais il ne disparaît pas, il s'infiltre dans des interstices.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 12 min]

L'analogie et l'exemple sont des stratégies utilisées par les enseignants pour concrétiser certaines notions abstraites. Cependant, il y a lieu de se questionner sur le statut que donnent les enseignants à de telles stratégies. Peut-on les qualifier de modèles? En ont-ils les principaux attributs et sont-ils utilisés comme tels par les enseignants?

4.1.3 Recours à la technologie et aux maquettes

La technologie est mise en avant en raison de la possibilité qu'elle offre pour concrétiser certains éléments théoriques et abstraits.

E4 : Moi ce que je trouve intéressant dans le modèle d'atome, c'est le fait que la science évolue en même temps que la technologie. Le rayon cathodique a permis de découvrir les électrons et puis une autre affaire, les protons... La techno est dépendante de la science et la science de la techno, donc j'en profite pour faire le lien entre les deux et pour rendre des affaires moins abstraites.

E1 : Oui, on commence avec ça, le fait que la science évolue avec la technologie et que **les premiers modèles n'étaient pas scientifiques. C'était des modèles philosophiques.** Puis avec la technologie, on a pu faire de plus en plus d'expériences. On ne sait donc jamais ce qui peut être découvert à partir de maintenant. Ça évolue.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 8 min]

La technologie se révèle être un moyen de rendre les connaissances plus concrètes. L'accent est mis sur la technologie et les principes de fonctionnement de certains objets qui permettent d'appuyer la théorie. Une enseignante évoque aussi la difficulté de concilier le concret et l'abstrait en électricité.

CP : C'est difficile de toute façon de construire un circuit électrique à partir d'un schéma.

C : C'est une activité de modélisation : tu navigues entre le concret et l'abstrait.

E et CP : Oui et c'est difficile. L'effet spaghetti il est énorme, là. Être capable de comprendre que là, c'est une jonction de fils.

E4 : Le schéma électrique il est bien carré et sur la table ce n'est pas si simple, si propre. Et puis un nœud. C'est quoi, un nœud? Un nœud, je leur dis. Tu prends ça en l'air comme ça. T'es censé pouvoir le montrer. Tu comptes combien il y a de fils qui arrivent là, puis combien qui repartent. Sur ton schéma. Trois? Alors tu es censé avoir trois fils l'un par-dessus l'autre. Montre-les-moi! Le nœud 1, le numéro 2.

E4 : En fait, c'est un bel exercice de modélisation.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 2 - 2014-02-10 – [1 h 33 min]

Par ailleurs, la technologie peut servir de prétexte à construire des maquettes. Ces représentations sont évoquées lors des différents groupes de discussion.

E1 : En secondaire 3, je fais des maquettes du système digestif, celle du système planétaire.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 20 min]

La maquette du système digestif est à nouveau envisagée lors du dernier groupe focalisé, après que la séance correspondante a fait l'objet d'une observation en classe (observations n° 1-a [2014-01-17] et n°1-b [2014-01-20]) lors d'une activité technologique au cours de laquelle les élèves construisent une maquette en bois relative au péristaltisme.

C : Si on prend le temps de s'arrêter un peu sur les limites justement. Généralement, est-ce que les élèves en trouvent des limites dans le document à remplir?

E1 : Disons que je les aide fortement. Mais on ne s'attarde pas.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [1 h 28 min]

Le document distribué aux élèves doit permettre d'envisager les limites du modèle construit, ce qui représente un exercice difficile pour la majorité d'entre eux, comme nous le verrons lors de la description de cette séance d'observation.

Par ailleurs, nous pouvons ici questionner l'interprétation qui est faite de la technologie au regard du PFEQ (Québec. Ministère de l'Éducation du Loisir et du Sport, 2007b) qui envisage la démarche de conception technologique à partir d'un besoin, d'un cahier des charges et d'un problème à résoudre.

E1 et E2 : Nous, on construit un modèle du péristaltisme en bois avec un bout de plastique, un petit bâton, une bille.

C : Oh! C'est une belle modélisation!

E1 : Oui, c'est dans ce travail que le conseiller pédagogique m'avait fait ajouter les limites et les forces du modèle.

C : Et quelle était la réception de la part des élèves?

E1 : Je posais des questions. Mais c'est avant tout un projet techno avec le but de les faire travailler manuellement.

C : Est-ce que tu avais l'impression qu'au niveau de la compréhension des élèves ça avait été mieux?

E1 : Peut-être un peu, mais, ce n'est pas un concept difficile.

E4 : Mais c'est intéressant parce qu'il y en a plusieurs qui pensent que l'intestin c'est un tuyau et que la nourriture ne fait que descendre. Et ils n'imaginent pas quelque chose d'actif.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 49 min]

Dans cet extrait, les notions de limites et de portée du modèle (Martinand, 2010a) apparaissent et elles se retrouvent dans le document mis à la disposition des élèves lors de la séance d'observation (Observation n° 1-a - 2014-01-17) centrée sur la construction de ce modèle du péristaltisme. Ces notions restent cependant peu exploitées par l'enseignant. La construction du modèle est avant tout un projet de construction technologique, une occasion pour les élèves de lire un plan, de prendre des mesures et d'utiliser des outils pour construire leur maquette lors d'une SAÉ (situation d'enseignement et d'évaluation) sur le péristaltisme (Appendice C). Une enseignante évoque d'autres maquettes qu'elle utilise pour permettre aux élèves de mieux apprendre les organites constitutifs d'une cellule.

E1 : En secondaire 3, **je fais une cellule aussi, en pâte à modeler**. Je me suis beaucoup amusée avec ça lorsque j'ai construit mon programme de 3e secondaire. Il y a beaucoup de SAÉ et de modélisations. Le conseiller pédagogique était intervenu aussi. Il nous a amenés à nous poser des questions comme « **le modèle est-il bon, quelles sont ses limites? À quoi sert-il ce modèle?** » Il m'avait amenée à cela à faire critiquer leurs modèles par les élèves. C'est vrai j'avais oublié que j'avais fait ça!

CP : On trouvait ça dans Synergie. C'est là que je m'étais rappelé que l'on devait enseigner les modèles. Finalement au secondaire, on ne l'enseigne pas cette notion-là! Pour tout ce que l'on tient pour acquis comme le globe, le globe terrestre... Ce n'est pas la terre, c'est un modèle de la Terre, et à chaque fois, je faisais attention dans mon vocabulaire, de bien ramener au modèle.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [1 h 20 min]

Nous retrouvons ici la notion de l'importance du langage utilisé qui se dégage de cet extrait. L'enseignante précise ensuite l'usage qu'elle fait de cette maquette de cellule.

C : Mais, comment faisais-tu pour ta cellule, pour leur faire construire? Ils avaient des instructions?

E1 : Oui et ils avaient de la pâte à modeler, une liste de tous les organites qu'ils devaient construire. On a eu des modèles galettes, d'autres plus en 3D.

C : Et ensuite, comparais-tu les différents modèles?

E1 : Il y avait des questions, mais je me souviens plus. En fait, c'est plus une maquette qu'un modèle. Ils la reproduisaient, **mais ça leur faisait apprendre les organites**. Même chose lorsqu'ils faisaient le système digestif, ils faisaient juste reproduire le système digestif avec différents matériaux, mais au moins ils apprenaient les termes et l'ordre.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 14 min]

Cet extrait présente un modèle construit par les élèves selon les instructions de leur enseignante. Il s'agit plutôt d'un modèle pour apprendre (Amato-Imboden et coll., 2012) ce que l'on trouve dans une cellule. Il pourrait cependant servir de support à une réflexion en classe où les différents modèles construits pourraient être comparés. Pourquoi certains sont plats, d'autres en trois dimensions? Les élèves pourraient confronter leur opinion, trouver les limites et les avantages de chaque modèle. Cette activité constituerait de plus une réelle activité de modélisation.

Toujours relativement à la cellule, une enseignante propose une maquette qui favorise cette fois-ci la compréhension de la structure d'une cellule en utilisant un ballon gonflable et une boîte de mouchoirs en papier.

E4 : La cellule, juste de la faire voir aux élèves en 2D ou en 3D, j'ai vu **des changements de compréhension**. Alors, j'ai pris une boîte de Kleenex vide, une ballonne que j'ai rentrée dedans, et depuis ce temps-là, depuis que je fais ça, les élèves comprennent que la cellule, ce n'est pas un truc à plat. **Ils comprennent que c'est rigide et que l'on peut les empiler et cela permet de construire des squelettes végétaux. Ça se tient!** Mais c'est un modèle ça en fait! Puis c'est en trois dimensions! **C'est beaucoup plus concret.**

E3 : Ben là! Une boîte de Kleenex avec une ballonne d'eau dedans. C'est une tellement bonne idée!! Je vais l'adopter!

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [0 h 30 min]

L'enseignante concernée nous a fourni le protocole utilisé qui explique comment elle construit son modèle devant les élèves. Nous n'avons malheureusement pas pu avoir de photo, mais le document de l'enseignante est fourni en appendice B.

Les deux extraits précédents exposent deux approches différentes utilisant une maquette afin de concrétiser un objet abstrait. Un premier modèle en pâte à modeler est employé pour apprendre, alors qu'un deuxième modèle bricolé par l'enseignante est construit pour représenter, comprendre et ainsi appréhender le rôle de la membrane cellulaire dans les échanges avec le milieu extérieur (Amato-Imboden et coll., 2012). Deplus, ce modèle a permis d'engager une discussion très riche entre les enseignants, qui se sont ainsi plongés eux-mêmes dans une activité de modélisation, en essayant d'améliorer le modèle.

E4 : La cellule animale c'est gros, c'est rempli de liquide, ce n'est pas vide.
C'est solide!
E3 : On pourrait faire une grosse vacuole avec de l'huile.
E1 : Tu pourrais mettre des organites dedans et discuter des limites justement.
E4 : Oui, mais ma ballonne n'est pas transparente.
E4 : Oui, mais juste avec la boîte de carton, ils ont fait la différence entre la membrane cellulaire et la paroi cellulaire.
E3 : Mais oui, une qui est plus rigide que l'autre!

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [0 h 32 min]

Par ailleurs, un enseignant a eu l'idée de réaliser une maquette mettant en jeu les nerfs moteurs et sensitifs, modélisés par des cordes de couleurs différentes, afin d'appréhender la notion de nerfs mixtes. Malheureusement, il a été impossible d'obtenir une photographie de ce modèle.

E2 : Les élèves ne comprenaient pas les nerfs sensitifs et moteurs puis mixtes.
Alors j'ai pris des cordes jaunes, et des cordes rouges, puis des cordes jaunes et rouges. Attachées ensemble et là ils le voient. Il y a des cordes jaunes attachées ensemble, là c'est mon nerf moteur, les rouges c'est les sensitifs et les rouges et jaunes, c'est les mixtes.
E4 : Des idées comme ça, c'est ça qui manque dans nos cours.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [1 h 34 min]

Ces différents extraits témoignent de l'utilisation de diverses maquettes, dont certaines sont conçues et élaborées par les enseignants eux-mêmes afin de faciliter la conciliation de concret et l'abstrait dans le domaine de la biologie chez leurs élèves. Des maquettes relatives à l'atome bricolées par les enseignants ou construites à partir d'ensembles fournis dans les boîtes de modèles moléculaires sont aussi évoquées.

E4 : Mais Démocrite, avec son fameux modèle de la boule pleine, **pour le primaire c'est parfait**. Tu mets des billes puis des cordes. Comme moi, je me suis fait un modèle avec les 1^{ers} secondaires et je le reprends, tu mets des boules de styromousse pour montrer les trois états de la matière.

E1 : Tu as tout à fait raison. En fait, on se sert du modèle au niveau historique, où est rendu l'élève. On arrête dans l'histoire, où l'élève est rendu, au niveau de sa compréhension.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [0 h 25 min]

Cette discussion est intéressante quant au statut attribué au modèle. Le modèle de Démocrite devient-il faux ou atteint-il sa limite de validité pour le contexte dans lequel il a été créé? Ne serait-ce pas le langage utilisé par l'enseignant qui devrait préciser ces éléments à l'élève? Le modèle de la boule pleine, tout à fait acceptable au primaire, devient obsolète au niveau du secondaire parce qu'il ne permet pas d'expliquer certains phénomènes. Il y a alors lieu de le faire évoluer sans pour autant le rejeter. C'est cette idée que l'on retrouve dans l'extrait suivant. Un enseignant aborde les modèles de l'atome selon une perspective historique qui montre leur évolution. L'intérêt est d'expliquer les différentes propriétés de la matière représentées par chaque modèle. Cette approche permet d'aborder les limites et le statut des modèles qui ne sont ni la vérité ni des objets immuables et statiques.

E3 : **Moi, j'ai changé mon approche du modèle atomique**. Ils prenaient tellement cela au sérieux! Je ne leur donnais pas le dernier modèle. Je commençais au début sans leur dire qu'on allait arriver là. Quand j'arrivais pour changer et passer à un nouveau modèle, ils étaient presque fâchés après moi, comme si je me contredisais ou que je leur racontais des niaiseries! **Je vais accentuer le fait que le modèle, ça évolue** puis leur dire « on va se rendre jusque-là ».

E1 : Oui, moi je pars de l'histoire de l'atome, son évolution. Moi, je ne prends pas de chance, je leur montre tout dans un seul cours!

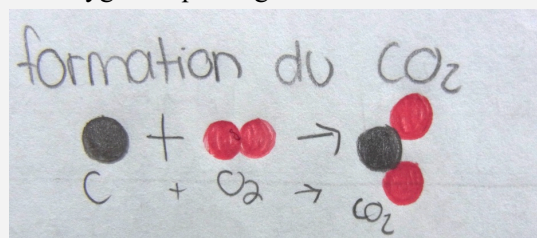
E3 : Maintenant, je vais leur montrer d'où on part et où on arrive, leur dire notre dernier modèle il va être comme cela. Donc on va pouvoir le faire évoluer et comprendre pourquoi.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 01 min]

Il serait alors intéressant d'envisager les différents modèles atomiques selon la perspective développée par Halbwachs (1974) qui considère la physique comme un « système de modèles emboîtés, affectés chacun de son domaine d'application, système toujours ouvert aux possibilités d'emboîtements ultérieurs » (p. 113). Cette posture épistémologique place la science dans une vision relativiste qui permet d'envisager la relation qui existe entre les différents modèles. Il s'agit en même temps de reconsidérer la valeur de la science et d'affirmer la nécessité de sa critique (Halbwachs, 1974).

Dans ce contexte, et relativement à la démarche de modélisation telle qu'elle est présentée dans le PFEQ, les enseignants témoignent de leur utilisation des ensembles de modèles moléculaires.

E4 : Moi il y a plein de choses que je vois là-dedans et que l'on fait déjà, comme quand tu parles des atomes et des molécules, tu arrives avec tes boules. Des kits ou des dessins que tu fais. C'en est ça, un modèle. C'est un objet qui va expliquer une réalité invisible. C'est invisible les atomes, mais, quand tu mets des boules comme cela, l'élève dit « OK, c'est un carbone avec des oxygènes qui réagissent ensemble. »



E2 : Oui, le modèle corpusculaire, tout ça.

E3 : C'est sûr, si l'on pense modèle dans le sens où c'est écrit là.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 56 min]

Les enseignants utilisent donc les modèles afin d'expliquer une réalité invisible. Cependant, les caractéristiques des modèles et le langage employé restent implicites. Pourtant, de telles précisions permettraient d'éviter les confusions et de faire prendre conscience aux élèves que les modèles atomiques utilisés ne sont pas une description, mais bien une représentation de la situation envisagée. Ce type d'ambiguïté est exprimé dans les deux extraits suivants.

C : Donc en fait, les modèles aux élèves, vous en présentez. Tu parles du modèle corpusculaire par rapport à la lumière, du modèle ondulatoire.

C : Dans le volume p. 21, les élèves doivent compléter le « qui suis-je? ». Par exemple, « je suis une représentation de l'atome »... **Est-ce que c'est clair pour eux ce que ça signifie « représenter »?**

E2 : **Ben oui...** mais, nous on ne pousse pas.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 50 min]

Pour cet enseignant, la signification du mot *représenter* est claire pour les élèves. Cependant, ne peut-il y avoir une ambiguïté portée par la différence de signification entre le registre courant et le registre scientifique du langage? L'extrait suivant témoigne aussi de cette tendance à l'implicite de la part des enseignants.

E1 : Moi je sais que quand je leur enseigne **qu'un modèle, ça permet d'expliquer quelque chose que tu ne peux pas voir**. Sauf qu'on n'y passe pas trois jours, là, c'est dit et on passe à autre chose. On leur **fait des dessins**, mais on leur dit pas « voici l'histoire des modèles ». Souvent, **le jeune comprend c'est quoi un modèle, c'est un mot qui existe**, qu'ils connaissent, mais, de là à savoir que le modèle sert à ça, est-ce que le modèle peut être bon, pas bon. Mais, on leur montre, vu qu'ils ont été modifiés, moi je leur dis en science, quelque chose est vrai jusqu'à preuve du contraire. Donc ce modèle-là il a été accepté jusqu'à ce que celui-là, jusqu'à celui-là, etc.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 56 min]

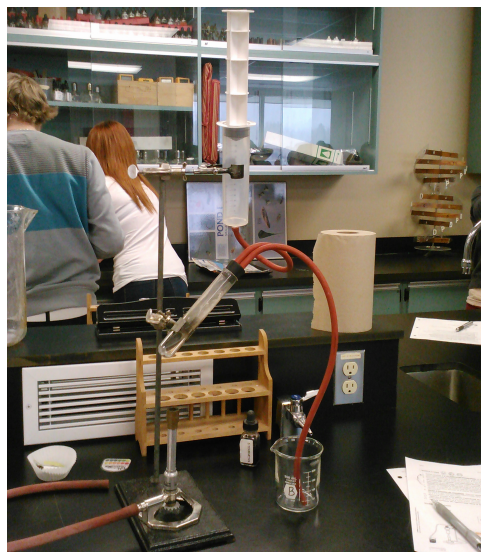
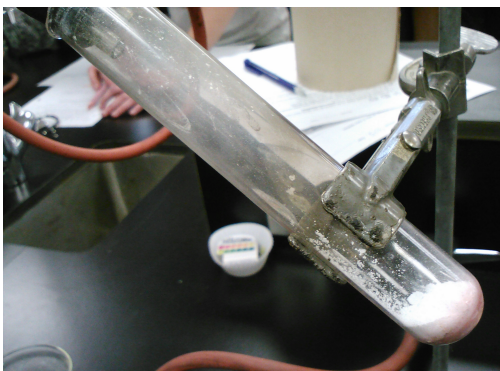
Dans cet extrait, les différents modèles atomiques sont le centre d'une discussion autour de l'utilisation du modèle en classe. On constate que cette notion de modèle est abordée par les enseignants, sans être véritablement enseignée. Certains évoquent auprès des élèves qu'un modèle sert à expliquer quelque chose que l'on ne peut pas

voir, mais ils concèdent ne pas y consacrer trop de temps. Tout comme dans les manuels, la notion de modèle reste en fait assez implicite. Pélissier, Nicolas et Venturini (2016) soulignent d'ailleurs que « les modèles ne sont pas des objets d'enseignement, mais sont souvent implicites dans les discours et les écrits en classe » (p. 1).

On constate que les enseignants partent avec la pensée que les élèves connaissent le mot « modèle », en se rattachant sans doute à la définition de sens commun donnée à ce terme. Or, ce recours à un même mot dans des inscriptions discursives différentes implique des significations différentes, l'une attribuée au sens commun, l'autre à un registre spécialisé (Dubois, 2008; Vygotski, 1934, 1997). Si le langage scientifique se base de toute évidence sur le langage de sens commun (Livi, 2004), il existe malgré tout des interprétations différentes entre discours de sens commun et discours d'expert (Dubois, 2008). Souvent, le sens commun attribué au terme de modèle est celui de « modèle à imiter » (Drouin, 1988, p. 3). Ceci implique alors une notion d'exemplarité que ne rejoint pas l'acceptation scientifique du terme.

4.1.4 Recours aux montages expérimentaux

Durant les séances observées en classe, différentes activités de laboratoire sont proposées aux élèves. Ainsi, un montage permet aux élèves de reproduire ce qui se produit dans l'atmosphère lorsque du soufre rejeté par une activité industrielle va se combiner avec de l'eau atmosphérique. Dans cette situation, le réactif utilisé est le sulfure de zinc, ZnS . Il représente le polluant dégagé qui se retrouve dans l'atmosphère. Lors de l'expérience, le gaz produit va barboter dans un bécher contenant de l'eau dont le pH va ainsi diminuer, simulant l'acidification de l'eau atmosphérique qui retombera par la suite en précipitations acides.



Photos 4.1-a et b : Montage du laboratoire sur les pluies acides – Obs. n° 2 – 2014-01-31

L'enseignante expose les objectifs de l'expérimentation mise en œuvre.

E3 : L'objectif du laboratoire aujourd'hui c'est de se mettre dans les conditions **comme si on avait de petites minicentrales au charbon**. On va donc produire des pluies acides parce qu'on va faire brûler des combustibles qui vont dégager du SO_2 et en les mettant en contact avec la vapeur d'eau, on va voir qu'il y a formation d'eau acide. **Donc on reproduit un peu une minicentrale thermique**. C'est ça qu'on doit s'imaginer.

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 21 min]

Lors de cette expérience, présentée par la technicienne en travaux pratiques, l'enseignante parle de simulation, mais les limites du modèle qui auraient pu être proposées comme sujet de réflexion aux élèves ne sont pas envisagées. Nous reviendrons plus longuement sur cette séance au moment de la présentation, puis de l'analyse des observations en classe.

4.1.5 Recours aux équations-bilans de transformations chimiques

Dans la logique de ce qui précède, l'enseignante explique la formation des pluies acides.

E3 : La formation des pluies acides est une réaction chimique qui se produit dans l'atmosphère.

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 25 min]

L'enseignante illustre son propos en écrivant au tableau les équations-bilans des transformations chimiques envisagées qu'elle accompagne des commentaires qui se retrouvent dans l'extrait ci-après.

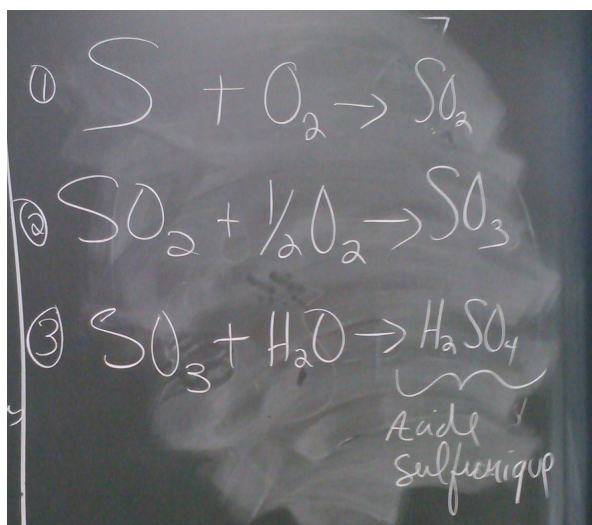


Photo 4.2 : Équations-bilans des transformations chimiques représentant les pluies acides – Obs. n° 2 – 2014-01-31

E3 : Alors, à quoi elle ressemble cette réaction chimique? [courte pause]

Ça se fait en deux étapes. Le soufre qui fait partie du SO_2 va avoir une réaction chimique avec le dioxygène de l'air et cela va produire le SO_2 . Puis, l'autre étape, le SO_2 formé va réagir avec encore le dioxygène de l'air pour former du SO_3 . Pourquoi j'ai mis $\frac{1}{2}$ là? Pour que mon équation soit balancée ou équilibrée. Finalement, le SO_3 va réagir chimiquement avec la vapeur d'eau de l'air et là, il va y avoir formation de l'acide sulfurique. Alors pourquoi il y a des pluies acides? Parce qu'il y a des réactions chimiques qui se produisent et ces pluies acides vont retomber sur nous.

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 25 min]

Récapitulons ce discours en faisant ressortir les différentes représentations associées. Une transformation chimique se produit donc dans l'atmosphère. À cette transformation chimique, on associe une réaction chimique qui rend compte de cette transformation à l'échelle macroscopique. Puis, une écriture symbolique de la réaction chimique permet de faire le bilan de la réaction. Cette écriture symbolique prend la forme d'une équation chimique, codifiée et appelée communément équation-bilan. L'équation-bilan met en jeu les symboles des atomes et molécules intervenant dans la réaction. Elle représente les phénomènes chimiques qui se produisent dans l'atmosphère lors de l'acidification de l'eau présente dans les nuages. On a bien ici une représentation partielle d'une réalité abstraite : ce modèle permet d'expliquer une partie de l'ensemble des phénomènes liés aux pluies acides. Cependant, Barlet et Plouin (1994) insistent sur le fait que l'équation-bilan est une modélisation complexe. Ils précisent : « L'équation-bilan présente des significations multiples, elle prend appui sur de l'explicite, elle suggère le non-dit. Elle présuppose beaucoup de notions associées à l'évolution de la réaction, et l'enseignant passe souvent de l'une à l'autre sans le dire » (Barlet & Plouin, 1994, p. 46).

Or, par son discours, l'enseignante identifie les équations-bilans de la réaction chimique avec la transformation chimique elle-même, alors que ces équations-bilans ne sont qu'un langage symbolique utilisé pour représenter la transformation chimique. Il y aurait lieu encore, en ce qui concerne le langage, d'envisager des ajustements afin de faire percevoir aux élèves le statut des écritures symboliques utilisées en chimie et de réhabiliter, comme le proposent Robardet et Guillaud (1997, p. 125), le « *tout se passe comme si* » en lieu et place du « *tout se passe ainsi* » qui traduit un réalisme naïf.

4.2 Présentation des situations d'enseignement mises en œuvre par les enseignants utilisant les modèles et la démarche de modélisation

Un travail similaire d'analyse a été poursuivi afin de décrire et explorer des situations d'enseignement mises en œuvre par les enseignants utilisant les modèles et la démarche de modélisation. Les observations en classe sont quant à elles soumises à un autre type de traitement. Il s'agit d'une réduction que permet la construction d'un canevas et d'un synopsis de chaque observation. Le corpus est issu de ces divers traitements des données. Quatre séances observées ont été proposées par les enseignants et vont ainsi être décrites. La quatrième séance fait l'objet d'une analyse particulière sous l'angle des ajustements de pratique, puisque l'enseignante a offert de modifier sa pratique habituelle pour envisager une entrée par le champ expérimental, en électrocinétique. Les synopsis des différentes séances sont présentés en annexes.

Tableau 4.2 : Renvoi en annexe des synopsis des séances observées

Synopsis de la séance observée « Construction d'un simulateur du péristaltisme »	Annexe P
Synopsis de la séance observée « Laboratoire sur la formation des pluies acides »	Annexe Q
Synopsis de la séance observée « Laboratoire sur les coacervats »	Annexe R
« Synopsis de la séance observée » Ajustement de pratique planifié : exemple de l'électrocinétique	Annexe S

4.2.1 Construction d'un simulateur du péristaltisme

Cette activité de technologie se passe en quatrième secondaire avec un groupe de 26 élèves. Certaines contraintes horaires obligent un découpage en deux périodes, l'une d'une durée de 30 minutes et l'autre de 50 minutes. Les observations correspondantes ont donc eu lieu les 17 et 20 janvier 2014.

4.2.1.1 Contexte

Dans la progression des apprentissages proposée par le MELS (2013), de nombreux éléments et concepts de cette séance se placent dans l'univers vivant : l'étude des fonctions du tube digestif reliées à la fonction de nutrition et le système digestif. Cependant, elle est essentiellement centrée sur l'univers technologique puisqu'elle fait surtout appel à la fabrication d'un objet où l'élève doit prendre des mesures, tracer et découper une planche de bois selon un plan fourni.

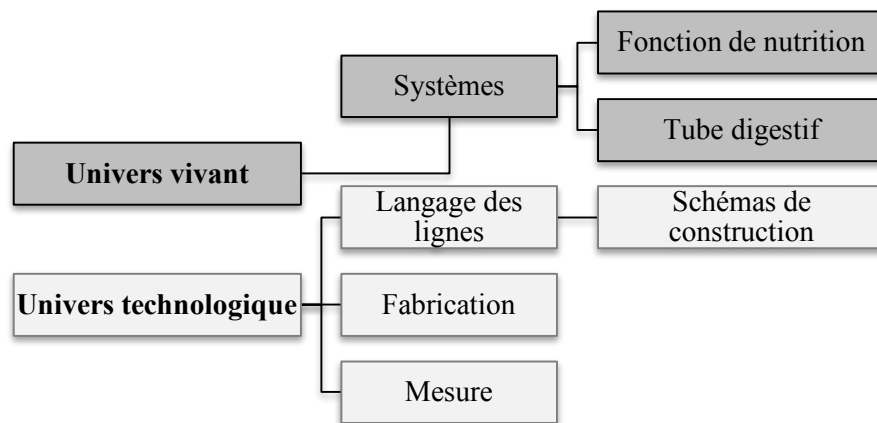


Figure 4.4 : Place de la séance sur le simulateur de péristaltisme dans la progression des apprentissages (MELS, 2011)

Cette activité fait suite à une série de leçons sur la digestion. Deux périodes sont consacrées à la construction du modèle : la première de 30 minutes et la seconde de 50 minutes. Le modèle est en fait une maquette permettant de simuler certains mouvements péristaltiques. Les élèves ont à leur disposition deux documents fournis en appendice. Le premier document est une SAÉ (Appendice C) qui concerne la construction proprement dite de la maquette du péristaltisme. Le deuxième document (Appendice D) est un complément qui permet aux élèves de se préparer à l'examen qui va suivre la séance de technologie. Il présente des exercices supplémentaires sur le système digestif. Les élèves se concentrent d'abord sur la construction de leur maquette. Le temps restant leur permet d'aborder les notions théoriques relatives au

système digestif. Plusieurs modèles sont présentés dans cette SAÉ. Nous les explorons dans la section suivante.

4.2.1.2 Modèles et démarches de modélisation mis en œuvre par l'enseignant

Dans ces deux documents relatifs à la SAÉ et au plan de la maquette du péristaltisme (Appendice B), on retrouve un dessin, sans commentaire particulier, uniquement accompagné du titre de la SAÉ. Ce modèle n'est pas introduit ni commenté par l'enseignant. On trouve ensuite un plan détaillé du simulateur de péristaltisme que les élèves doivent construire (Appendice B). Ces schémas doivent être complétés par les élèves qui remplissent le document en indiquant le nom des pièces, les forces mises en cause ainsi que les mouvements résultants. Dans cette activité, ils sont aidés par un plan de découpe que l'enseignant a réalisé au tableau.

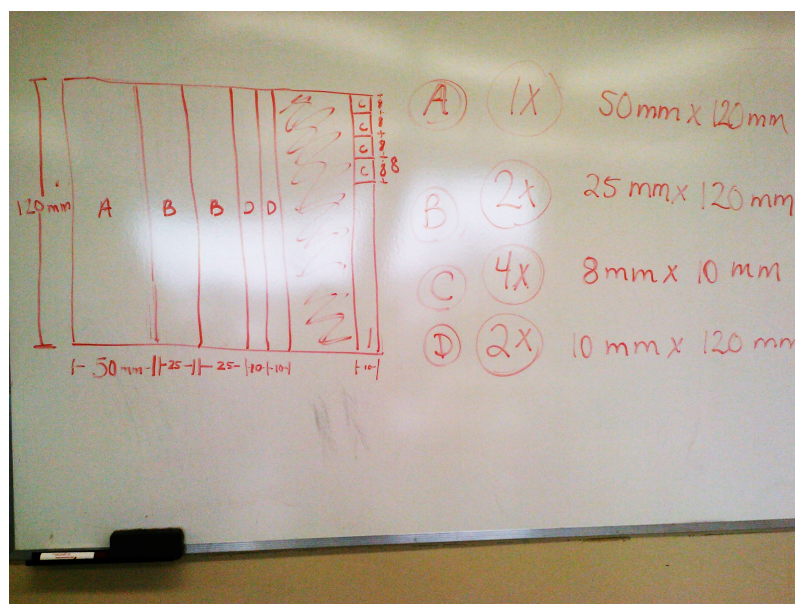


Photo 4.3 : Consignes de l'enseignant pour réaliser la maquette sur le péristaltisme –
Obs. n° 1-a – 2014-01-17

Par ailleurs, un modèle déjà construit est mis à la disposition des élèves sur le bureau de l'enseignant, comme le montre la photographie suivante.



Photo 4.4 : Modèle de péristaltisme réalisé par l'enseignant – Obs. n° 1-a – 2014-01-17

En s'appuyant sur ce plan, et sur le modèle donné en référence, l'enseignant donne les consignes techniques pour que les élèves construisent la maquette. Ceux-ci ont cinq tâches à réaliser :

- Tâche 1 : Identifier toutes les composantes du système à l'aide de leurs fonctions.
- Tâche 2 : Décrire le mode de fonctionnement (transformations physiques) du système.
- Tâche 3 : Dessiner un croquis de l'appareil.
- Tâche 4 : Construire un appareil dont on fournit la gamme de fabrication et compléter le schéma de principe et de construction de celui-ci.
- Tâche 5 : **Tâche complexe** – analyser les simulateurs de péristaltisme.

La tâche 5, reproduite sur la page suivante, attire notre attention puisqu'elle consiste en une analyse du simulateur de péristaltisme construit. Lors de cette analyse, les élèves doivent réfléchir aux forces et aux faiblesses du modèle.

TÂCHE 5

Tâche complexe : Analyser les simulateurs de péristaltisme.

1. Votre prototype respecte-t-il les contraintes mentionnées au début? Si non, quels ont été les manquements observés?

Non, car il y a une place sur l'appareil qu'on doit forcer un peu plus pour faire avancer la bille.

2. Le modèle construit qui vous a été proposé est-il un bon modèle qui représente correctement le péristaltisme? Nommez ses forces et ses faiblesses.

Forces	Faiblesses
<i>Il représente bien le mouvement de péristaltisme. Le tube de jus congelé et la bille représente bien l'oesophage et le bol alimentaire</i>	<i>Si on remplissait le solé par du liquide, le simulateur de péristaltisme ne fonctionnerait pas</i>

Photo 4.5 : Tâche 5 de la SAÉ « Analyse des simulateurs de péristaltisme » – document d'élève – Obs. n° 1-b – 2014-01-20

Il s'agit d'une tâche complexe. Pourtant, les élèves ne sont pas guidés dans cette activité.

C : Après, lorsqu'ils auront terminé cette séance, allez-vous revenir dessus pour faire la liaison entre le modèle et les éléments du cours?

E2 : Ils sont censés le faire eux-mêmes, à même leur document. Surtout les dernières questions avec les limites du modèle et les points forts. ... Juste le fait de comprendre le principe, c'est une force. Un modèle, c'est fait pour ça.

Extrait de verbatim : Observation n° 1-b – 2014-01-20 – [0 h 50 min]

Certains élèves arrivent néanmoins à trouver des explications. La plupart du temps, ils déterminent sans trop de difficulté un point fort à leur modèle. Cependant, beaucoup n'y trouvent pas de limites et abandonnent cette partie.

C : Pourquoi cela représente bien le mouvement du péristaltisme?

Élève (e) : [silence]

C : Tu n'as pas trouvé de faiblesses?

e : Pas vraiment.

Extrait de verbatim : Observation n° 1-b – 2014-01-20 – [0 h 45 min]

Le deuxième document présente aussi plusieurs modèles relatifs à la digestion. Deux de ces modèles sont des cartes conceptuelles que les élèves complètent (Appendice C).

Les élèves ont à remplir les différentes cartouches de l'organigramme. De même, la page 6 du document (Appendice C) propose un schéma que les élèves légendent. Les élèves ayant abordé la théorie au préalable, il s'agit d'un document de révision en vue de l'examen, qui conclut le module sur la digestion. L'enseignant intervient de manière sporadique pour répondre à quelques questions d'élèves qui travaillent en équipe de deux.

4.2.2 Laboratoire sur la formation des pluies acides

Cette activité de quatrième secondaire en laboratoire, d'une durée de 80 min avec un groupe de 27 élèves, a donné lieu à une observation en classe le 31 janvier 2014. La séance débute en salle de classe pour la correction d'exercices, l'activation des connaissances antérieures, ainsi que la présentation rapide du laboratoire, auquel une période de 80 minutes est consacrée. Puis, les élèves migrent dans l'espace laboratoire jouxtant la salle de classe et se placent en dyade devant le montage préparé, au préalable, par la technicienne de laboratoire.

4.2.2.1 Contexte

Dans la progression des apprentissages, cette séance se situe dans l'univers Terre et Espace. Elle concerne les caractéristiques de l'atmosphère, la circulation atmosphérique et, plus particulièrement, la contamination liée aux activités humaines. Cependant, des notions relatives aux phénomènes géologiques et géophysiques sont aussi interpellées, puisque la compréhension de la formation des pluies acides fait intervenir les modélisations liées au cycle de l'eau.

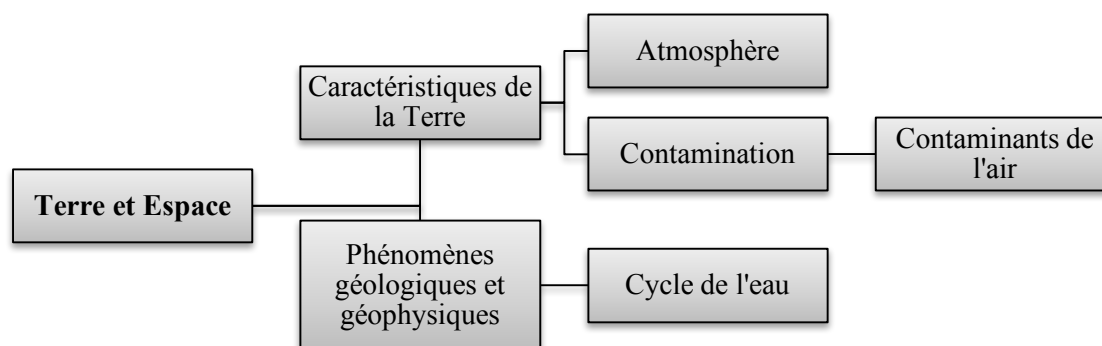


Figure 4.5 : Place de la séance sur les pluies acides dans la progression des apprentissages (MELS, 2011)

Les notions de pression atmosphérique et de circulation atmosphérique ont été abordées lors d'une séance précédente. La séance commence donc par une activation des connaissances antérieures sur les notions théoriques déjà abordées relatives à l'effet de serre et les gaz qui y participent. Les documents utilisés lors de cette séance et mis à la disposition des élèves sont présentés en appendice D.

4.2.2.2 Modèles et démarches de modélisation mis en œuvre par l'enseignante

Dans un premier temps, l'enseignante aborde le processus de l'effet de serre à l'aide d'un dessin fait au tableau (déjà présenté figure 4.1), tout en décrivant trois étapes qui représentent le rayonnement émis par le Soleil, qui est ensuite réfléchi par la Terre, puis réfléchi à nouveau vers la Terre par les gaz de l'atmosphère terrestre. Un schéma de ce type se trouve par ailleurs dans un exercice du cahier d'activité des élèves, comme nous l'avons vu en p. 131. Ce schéma est envisagé comme un exercice au début du cours, où il fait l'objet d'une correction. Puis, les élèves travaillent à partir d'un document extrait de leur cahier d'apprentissage « les sources de gaz à effet de serre » (Cyr, Verreault & Forget, 2008, p. 172), qui aborde les sources naturelles et humaines des gaz dits à effet de serre : CH_4 , CO_2 , NO_x (Appendice D). Lorsque ces

notions sont clarifiées, l'activité de laboratoire proprement dite commence. L'enseignante interroge les élèves sur la provenance des gaz mis en jeu dans les pluies acides et présente l'activité, qui est décrite comme une reproduction de ce qui se passe lorsqu'une centrale thermique fonctionne.

E3 : Donc, on reproduit un peu une minicentrale thermique. C'est ça qu'on doit s'imaginer.

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 21 min]

Elle écrit ensuite au tableau, en les commentant, les équations-bilans des réactions chimiques qui ont lieu lors de la formation des pluies acides (p. 147). Par la suite, l'aide de laboratoire présente le montage, déjà réalisé, avec lequel les étudiants vont travailler. L'enseignante aborde l'expérience en termes de simulation.

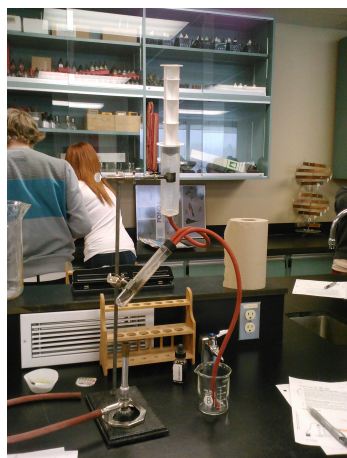


Photo 4.6 : Montage effectué lors du laboratoire sur les pluies acides – Obs n° 2 – 2014-01-31

E3 : On a une seringue de 140 cc pour emprisonner un polluant, comme peuvent rejeter les usines et on va le faire aller dans notre eau qui va faire comme un mini-lac. C'est une simulation en fait. On utilise le brûleur. On fait attention. Le produit qu'on va utiliser aujourd'hui, c'est du ZnS, du sulfure de zinc. On en met une petite quantité dans l'éprouvette.

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 31 min]

L'enseignante explique la manipulation étape par étape, en précisant ce qu'il est essentiel d'observer.

E3 : Si on se met en situation, notre polluant il est ici [en montrant le tube qui contient le ZnS]. On le fait chauffer parce qu'il va dégager du soufre. Ça va s'en aller dans la seringue ici. On va le laisser aller, puis pousser sur la

seringue pour l'envoyer dans l'eau. Et c'est l'eau qu'il faut regarder. C'est ça l'observation importante et prendre la mesure du pH.

Donc autrement dit, notre indicateur ou notre observation qui est importante ici c'est de vérifier qu'avant que le gaz touche à l'eau elle est neutre. Puis, qu'est-ce qu'il va falloir refaire après? Vérifier qu'elle devient comment?

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 34 min]

Les élèves commencent ensuite la manipulation. Les photographies ci-dessous prises lors de la séance montrent le changement de couleur de l'indicateur coloré qui indique l'acidification du milieu. Les élèves ont aussi à vérifier le pH par une mesure avec du papier pH.

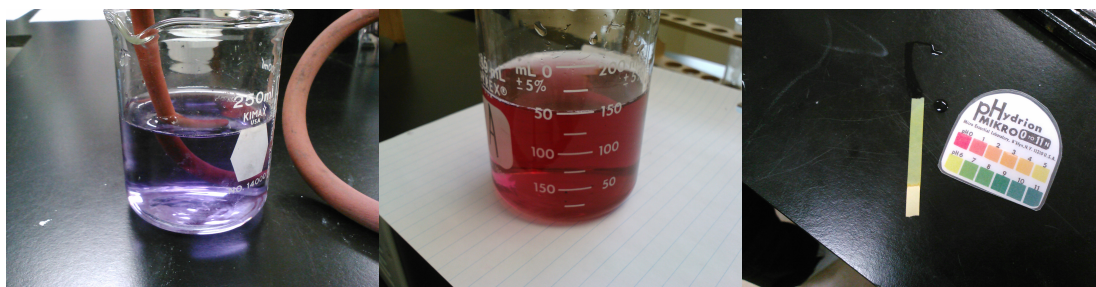


Photo 4.7 : Changement de couleur observé lors de l'acidification de l'eau – Obs n° 2 – 2014-01-31

Les élèves réalisent la manipulation et complètent ensuite leur document de laboratoire, dont un exemplaire est fourni à l'appendice D.

4.2.3 Laboratoire sur les coacervats

Cette observation sur les coacervats est centrée sur une activité de laboratoire avec un groupe de 26 élèves de cinquième secondaire. Elle se déroule le 31 janvier 2014 en après-midi, sur une période de 80 min. La séance commence en salle de classe. Elle se poursuit dans le laboratoire attenant à la salle de classe. Les élèves sont placés par équipe de deux devant le matériel installé sur les comptoirs de travail.

4.2.3.1 Contexte

Il s'agit d'un cours optionnel de sciences générales proposé uniquement en cinquième secondaire. Cette option permet de développer des compétences en biologie et en microbiologie. Certaines notions relatives à l'évolution, l'énergie chez les vivants, la génétique et les biotechnologies sont aussi abordées. La séance s'inscrit dans une progression sur la microbiologie construite par l'enseignant et aborde des concepts relatifs à l'évolution biochimique de la matière.

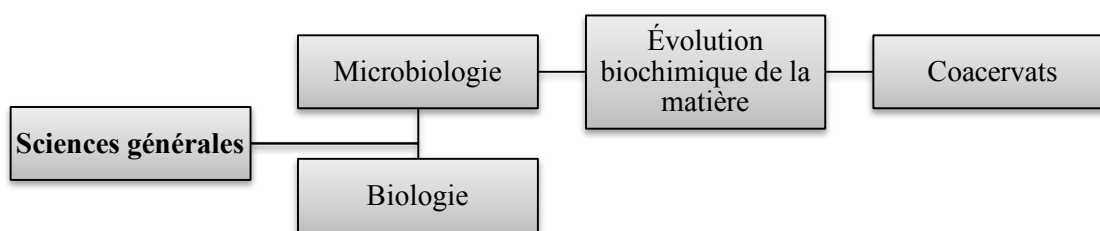


Figure 4.6 : Progression envisagée dans le cours Sciences générales – Laboratoire sur les coacervats

La séance commence par une activation des connaissances antérieures relatives à l'abiogénèse et la chimie prébiotique. L'enseignante revient de manière générale sur la formation des molécules puis insiste sur les biomolécules, notamment les glucides, les lipides, les protéines, les acides nucléiques et l'eau. Les élèves doivent lire la page 116 de leur volume (Gilles & Bergeron, 2003) relative à l'évolution géochimique et biochimique. Ils ont aussi un document à remplir, fourni par l'enseignant. Ces documents sont reproduits en appendice (E).

4.2.3.2 Modèles et démarches de modélisation mis en œuvre par l'enseignante

L'enseignante propose à ses élèves d'explorer l'organisation primitive des molécules à partir d'une activité de laboratoire.

E3 : Aujourd'hui on va faire un modèle de quelque chose pour expliquer une étape de l'apparition de la vie sur Terre.

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [0 h 01 min]

Un moment est consacré à l'activation des connaissances antérieures que l'enseignante aborde par une série de questions sur les atomes, les molécules, les différentes formes d'énergie (chimique, électrique, solaire, thermique et nucléaire).

E3 : Nommez-moi des phénomènes naturels qui ont amené de l'énergie électrique?

e : Les éclairs.

E3 : Il y avait aussi de l'énergie solaire, de l'énergie chimique.

e : Des volcans.

E3 : Oui, de l'énergie thermique. Tout ça mélangé ensemble, ça a fourni de l'énergie aux atomes et ils ont formé des molécules plus grosses. OK?

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [0 h 03 min]

Puis, l'enseignante aborde ce qui va constituer le sujet de la séance.

E3 : Moi ce que je veux que vous compreniez aujourd'hui, parce que **c'est une notion qui est quand même un peu abstraite**, c'est qu'aujourd'hui, **on vous propose un modèle qui est comme admis scientifiquement** comme de quoi les êtres, les molécules en fait, seraient devenues de plus en plus organisés. Jusqu'à reproduire un niveau d'organisation assez élevé pour dire qu'à partir de ça il y aurait pu avoir apparition de la vie, de premières cellules. Mais, même en labo, avec les connaissances actuelles, on n'est pas capable de produire en laboratoire la cellule, autrement dit la vie, à partir de ce qu'on va faire aujourd'hui. **Tout ce qu'on veut vous démontrer**, c'est qu'on **suppose** que ce qu'on est capable de faire, on **suppose** que la vie est partie de là. Donc c'est vraiment de dire, **on pense qu'il y a un modèle**, mais il y a un saut qu'on n'est pas capable de faire. [...] Donc, on va expliquer ce qu'on veut **représenter** par ce laboratoire-là....

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [0 h 03 min]

Ensuite, les élèves ouvrent leur volume à la p. 116 sur l'évolution biochimique de la matière.

Ce que l'on a vu au dernier cours, c'est l'évolution géochimique avec toute la mise en place de l'atmosphère, du sol, des éléments qu'on retrouve dans le tableau périodique et dont on est construit.

Là, aujourd'hui on va commencer à parler de l'évolution biochimique. BIO, c'est comment on a fait pour arriver à la vie.

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [0 h 06 min]

À tour de rôle, les élèves enchaînent la lecture d'un paragraphe. L'enseignante reprend le sens de la lecture dans une forme d'institutionnalisation du savoir (Brousseau, 2002).

E3 : Si on s'attarde aux 4 dernières lignes, ça résume l'évolution biochimique de la matière, donc on dit que la cellule est l'unité de base de la vie, la théorie que l'on vous propose suggère une série d'étapes qui ont amené à la première cellule et ensuite de cette cellule-là se seraient différenciés les différents êtres vivants que l'on trouve aujourd'hui sur la planète.

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [0 h 07 min]

L'expérience d'Oparin est présentée aux élèves à l'aide d'un schéma résumant la manière dont les biomonomères (acides aminés, bases azotées d'acides nucléiques, sucres et acides gras) se sont combinés entre eux.

E3 : Ici, vous avez un petit dessin qui relate comment les molécules se sont jointes entre elles pour se complexifier pour arriver aux premières fondations de la vie et pour former une espèce d'entité isolée qui était comme capable d'avoir certaines caractéristiques et c'est ça aujourd'hui qu'on va essayer de refaire.

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [0 h 08 min]

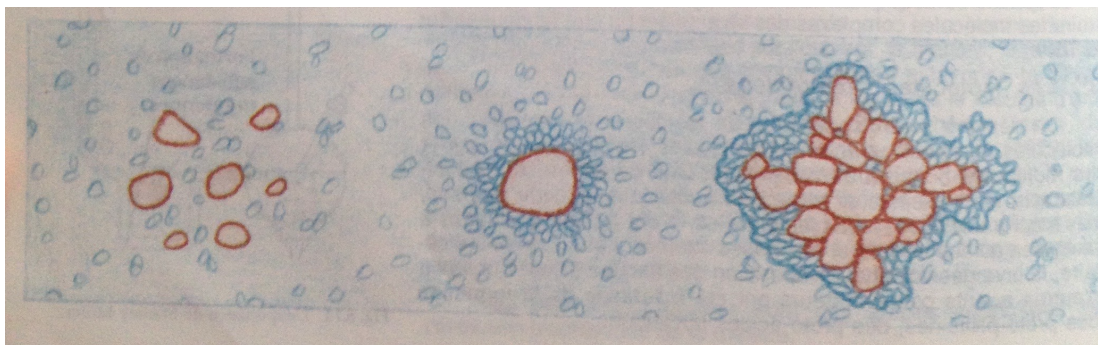


Photo 4.8 : Expérience d'Oparin (Gilles & Bergeron, 2003, p. 97) – Obs. n° 3 – 2014-01-31

E3 : Cette entité-là possède comme une espèce de peau qui sont des arrangements de molécules qui l'isole de son milieu, mais qui permettent de communiquer entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule, et elle fait comme se nourrir d'autres molécules qu'elle va ingérer en dedans d'elle pour en tirer de l'énergie. Donc, il y a un comportement de ces entités-là qui ne sont pas des cellules, mais qui ressemblent à ce qui pourrait être du vivant.

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [0 h 09 min]

Un document intitulé *Évolution biochimique de la matière* est aussi projeté sur le tableau blanc interactif (TBI) et l'enseignante commente et explique les différents symboles utilisés comme, par exemple, la représentation cyclique des sucres. Cette représentation est un modèle, ce qui n'est pas formulé aux les élèves de manière explicite.

E3 : On va toujours représenter un sucre ou un polysaccharide comme ça... [à propos des petits dessins]

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [0 h 20 min]

La lecture reprend et expose des éléments intéressants en termes de modèle et démarche de modélisation relativement à l'évolution biochimique de la matière. L'enseignante présente les microsphères et coacervats en évoquant la fonction de représentation.

E3 : En fait, aujourd'hui, on va créer des microsphères ou coacervats, qui représentent des macromolécules qui s'isolent du milieu.
Ce sont des molécules complexes qui sont séparées les unes des autres, mais quand on les met dans certaines conditions que l'on suppose, ces molécules-là se regroupent et s'isolent du milieu et arrivent à avoir une certaine organisation.

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [0 h 21 min]

Elle précise aux élèves qu'ils vont faire un modèle. Ce modèle est présenté comme une hypothèse dans l'explication des différentes étapes du vivant ayant permis l'apparition de la vie.

E3 : Donc, ce qu'on veut faire, c'est comme les scientifiques font. Un scientifique, ça admet que quelque chose est vrai quand il est capable de le prouver.

Nous autres, on va partir de molécules préparées, assez complexes, et voir que dans certaines conditions elles s'organisent d'une certaine manière qui aurait pu être précurseur de comme la vie va s'organiser.

Donc aujourd'hui, c'est cette étape-là qu'on va regarder. Puis, jusqu'à cette étape-là, c'est admis. C'est après qu'on a de la misère à savoir ce qui s'est passé.

Mais ce modèle-là tend à croire que ça a pu arriver comme cela.

L'apparition des premières cellules, c'est des cellules procaryotes, pas de noyau, mais un peu d'ADN qui va faire les étapes du vivant.

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [0 h 19 min]

L'enseignante engage aussi les élèves dans une lecture permettant d'envisager ces différentes étapes dans ce qui suit, selon un statut hypothétique et explicatif.

Élève (lecture) : Les pages suivantes présentent des étapes de l'évolution biochimique de la matière sur notre planète qui sont généralement admises. Pour en faciliter la compréhension, elles sont présentées selon une équation de type $A + B = C$. Chacune peut être interprétée de la façon suivante. Quels éléments de départ A, soumis à quelle condition B, ont permis d'obtenir les produits C.

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [0 h 09 min]

À la suite de cette introduction théorique, l'activité de laboratoire proprement dite commence. Elle est présentée dès le début de la séance comme la réalisation d'un modèle par l'enseignante.

E3 : On va relater les premières étapes. On va compléter notre document, puis on va aller faire notre modèle en laboratoire.

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [0 h 06 min]

La manipulation consiste à verser de l'acide chlorhydrique dans un mélange constitué de deux solutions : l'une de gélatine et l'autre de gomme arabique. Le mélange au départ transparent et homogène doit se troubler. Une goutte est alors prélevée et déposée sur une lamelle afin d'être observée au microscope. La gélatine va fixer les particules hydrophobes dans une solution hydrophile. Elle va entourer la gomme

arabique hydrophobe afin de la fixer dans la solution aqueuse. Il y a donc une formation de microcapsules au sein de la solution.



Photo 4.9 : Lame réalisée par un élève – Observation de coacervats – Obs. n° 3 – 2014-01-31

Les élèves doivent compléter leur document en dessinant ce qu'ils observent au microscope avant et après l'ajout d'acide chlorhydrique dans le mélange de gomme arabique et de gélatine.

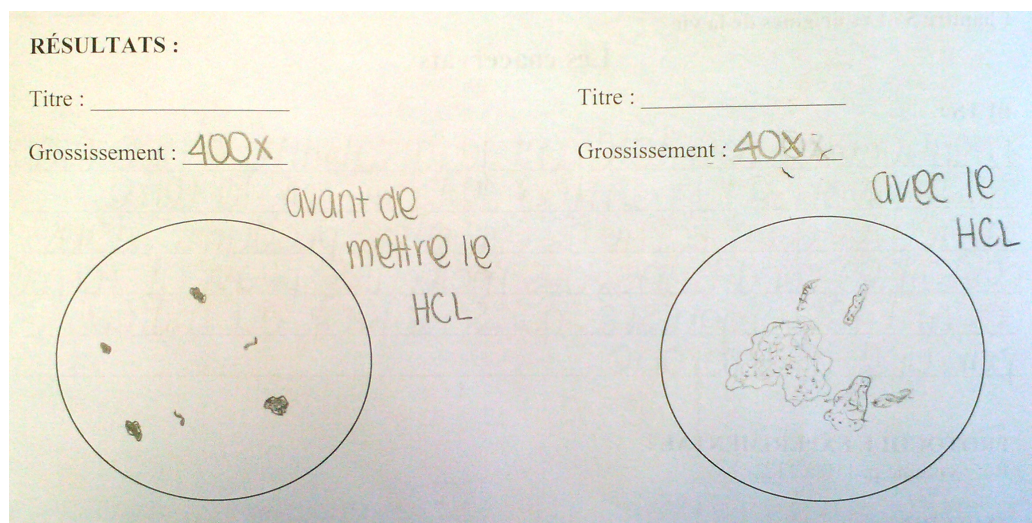


Photo 4.10 : Dessin d'élève – Observation au microscope – Obs. n° 3 – 2014-01-31

La séance se termine par la rédaction d'une conclusion sur ce qui a été observé au microscope, faite en équipe. L'enseignante demande à une élève de lire sa production écrite dans une forme d'institutionnalisation du savoir (Brousseau, 2002).

e : Nous devons vérifier la faisabilité d'une étape ayant favorisé l'apparition de la vie sur la Terre et prouver qu'à partir de certains produits les molécules peuvent former des entités organisées qui s'isolent du milieu par une membrane.

Pour ce faire, nous avons mélangé de la gomme arabique, de la gélatine et de l'acide chlorhydrique pour montrer l'état des molécules sans acide, puis nous avons ajouté de l'acide chlorhydrique et nous avons observé la formation d'une sorte de membrane. Nous pouvons conclure qu'en milieu acide, les molécules peuvent former des entités organisées.

Extrait de verbatim : Observation n° 3 – 2014-01-31 – [1 h 15 min]

4.3 Ajustements de pratique pour faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait utilisant un enseignement basé sur les modèles et la démarche de modélisation

En cohérence avec l'objectif 3 de notre recherche qui est d'analyser les ajustements de pratique des enseignants selon les visées éducatives en S&T, le corpus a été interrogé avec une intention de lecture bien précise. Il s'agissait de repérer les indices permettant d'identifier des ajustements de pratique chez les enseignants. Ces indices peuvent prendre la forme de remarques et de prises de conscience des enseignants sur leur pratique ou sur des éléments qu'ils considèrent comme pouvant avoir une influence sur la compréhension des élèves et dont l'ajustement pourrait être bénéfique à cette compréhension. Les éléments relevés proviennent pour la plupart des échanges ayant eu lieu dans les groupes de discussion. Ils sont donc évoqués par les enseignants. Cependant, une enseignante a partagé un ajustement dans sa pratique, relatif à l'étude de l'électrocinétique. Cet ajustement est élaboré par l'enseignante comme suite à la deuxième rencontre de groupe qui avait pour thème un atelier sur la démarche de modélisation. Il fait l'objet d'une observation en classe et d'une rétroaction lors de la dernière rencontre de groupe.

Un travail de catégorisation du corpus (Robert & Bouillaguet, 1997) a permis de faire émerger différentes catégories correspondant à différents ajustements qui sont abordés dans la section suivante. Nous nous concentrons donc, dans un premier

temps, sur les ajustements de pratique évoqués par les enseignants, puis nous abordons la séance d'électrocinétique proposée par l'enseignante qui se concrétise par un changement majeur dans la manière d'aborder la relation entre théorie et champ expérimental de référence (Robardet & Guillaud, 1997).

4.3.1 Ajustements de pratique évoqués par les enseignants

Lors des groupes focalisés, essentiellement lors de la rencontre bilan, les enseignants abordent certains éléments de leur pratique qu'ils pourraient modifier afin de mieux cerner la notion de modèle auprès des élèves. Certains ajustements concernent des précisions dans le langage utilisé.

E1 : Ce serait juste de dire peut-être qu'il existe plus.

E3 : Oui. Que notre modèle de l'atome, ce n'est pas le dernier. Qu'il y en a d'autres, mais que nous, on n'a pas besoin d'aller plus loin.

E1 : C'est ça! Qu'ils le verront plus tard!

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [0 h 12 min]

Les enseignants prennent conscience de certains raccourcis qu'ils utilisent et de la nécessité de verbaliser leur démarche.

E4 : En fait, il faut qu'on apprenne à verbaliser notre démarche, à la rendre plus explicite.

E1 : On se sert du modèle et ça ne va pas plus loin. On devrait mettre l'accent sur la démarche - FG3- 2014-05-06 – [0 h 32 min]

E1 : On a tous tendance à utiliser des modèles, quand on bricole avec nos cordes, nos boîtes, à patenter des affaires pour que les élèves comprennent. Mais, en fait, on ne sait pas que ce qu'on fait, c'est de la modélisation. Même un dessin vite fait au tableau, c'est quelque chose que l'on construit pour que l'élève comprenne!

CP : Est-ce que l'élève le sait, est-ce qu'il se dit « là, il est en train de travailler un modèle », avec tout ce que cela sous-entend?

Plusieurs enseignants, ensemble : Non, bien sûr que non!! Même nous on n'en a pas conscience. On le fait sans le savoir. Sans s'en rendre compte...

E1 : les élèves vont parler d'exemples, nous de vulgarisation, mais pas de modèles! - FG3- 2014-05-06 – [1 h 11 min]

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06

E3 : Oui, moi ça me ramène à l'importance des modèles en sciences. Et je me dis que je ne vais plus passer par-dessus. Je vais faire attention au « ça va de soi ». Non, ça ne va pas de soi et il faut prendre un temps d'arrêt et faire un dessin, un modèle et essayer de trouver quelque chose qui va leur faire comprendre cette petite notion-là.

FG3- 2014-05-06 – [1 h 20 min]

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [1 h 20 min]

D'autres ajustements ciblent directement les activités à faire faire aux élèves qui soient centrées sur la démarche de modélisation.

E1 : On pourrait leur demander d'inventer un modèle pour quelque chose qu'ils connaissent. [...] Avant d'enseigner la cellule, tu pourrais dire : « Dessinez-moi une cellule. » Puis, tu le ferais à nouveau après l'enseignement.

E2 : Souvent c'est juste comme un œuf au plat. Noyau, membrane. C'est leur image de la cellule.

CP : Et quand on commence à parler d'osmose dans la cellule, s'ils ont dessiné un trait plein...

Collégial : Ça marche plus, ça peut ni entrer ni sortir.

CP : Donc là, il faudrait qu'ils modifient leur dessin?

E4 : Oui, avec des traits pointillés.

E1 : En fait, tu pourrais leur faire dessiner une cellule au début, et à chaque fois que tu enseignes, les faire réfléchir à comment modifier ton dessin. Comme une bande dessinée avec le modèle qui évolue. Tu rajoutes des éléments avec la nouvelle notion que l'on vient de dire.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [0 h 27 min]

Les formules mathématiques, en l'occurrence la loi d'Ohm, envisagée comme un simple outil de calcul, commencent à être perçues comme une modélisation d'un phénomène physique permettant de comprendre et de prédire le comportement d'un conducteur ohmique traversé par un courant.

C : Mais, une formule mathématique c'est aussi une modélisation. Si on prend la loi d'Ohm, au-delà d'une simple opération arithmétique pour obtenir un résultat, elle décrit, en partie, le comportement, la réponse d'un conducteur ohmique traversé par un courant.

E3 : Ben oui!

E4 : En fait on ne prend pas le temps de la décortiquer, **de la présenter comme un modèle, avec le graphique correspondant et ses significations.** On reste dans l'abstraction mathématique. Est-ce qu'on retourne parfois sur le terrain concret à partir de la formule?

E3 : Non, on fait juste faire des calculs, mais on devrait la présenter comme cela. Ça rendrait les choses plus concrètes.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [0 h 30 min]

Il est intéressant de noter l'évolution et les prises de conscience qui ressortent du discours des enseignants relativement à leur perception des modèles et de la démarche de modélisation. Le tableau ci-dessous récapitule ces évolutions dans le discours des enseignants relatives aux modèles et aux démarches de modélisation.

Tableau 4.3 : Ajustements de pratique évoqués par les enseignants

	Pratique des enseignants	Ajustements envisagés
Langage	Évoquer les modèles comme allant de soi	Préciser le langage utilisé relatif aux modèles
		Rendre explicite la notion de modèle
Activités de modélisation	Réaliser de manière implicite	Avoir recours à des activités centrées de manière explicite sur la démarche de modélisation
Outil mathématique	Utiliser les formules mathématiques comme de simples outils de calcul	Donner un sens aux formules
		Présenter les outils mathématiques comme des modèles permettant de traduire un comportement, un phénomène sous une forme mathématique

Les enseignants prétendaient lors de la première rencontre de groupe ne pas avoir recours aux modèles ou démarches de modélisation, faute de temps. Ils prennent conscience, lors du dernier groupe focalisé, de l'importante présence de telles activités dans leur pratique. Ils réalisent alors la nécessité de rendre de telles démarches explicites auprès des élèves.

4.3.2 Ajustement de pratique planifié : exemple de l'électrocinétique

La séance observée, d'une durée de 75 min, a lieu le 14 mars 2014. La classe est composée de 11 élèves de quatrième secondaire. Il s'agit d'un ajustement de pratique proposé par l'enseignante qui fait suite à la réflexion engendrée lors du deuxième groupe focalisé du 2 février 2014 qui avait pour objet un atelier autour des modèles et de la démarche de modélisation. Lors de cette rencontre, le thème de l'électrocinétique avait été abordé dans la perspective développée par Robardet et Guillaud (1997) qui envisagent dans un premier temps de confronter les élèves au champ expérimental de référence, puis d'élaborer des modèles symboliques et d'aborder la théorie dans un mouvement d'ampleur conceptuel (Martinand, 2010a). Selon Robardet et Guillaud (1997), cette démarche permet de

[f]aire prendre conscience aux élèves de la différence de statut et de nature entre la réalité (empirique) et le modèle (théorique) [*et de*] faire percevoir les sciences physiques comme sciences de la modélisation (et non pas de la découverte de la réalité) en faisant participer les élèves à des activités d'élaboration de modèles pertinents. (p. 123)

Avant ces réflexions, discutées lors du groupe focalisé, l'enseignante présentait la théorie en abordant, dans un premier temps, l'intensité et les lois relatives à l'intensité dans les circuits électriques avec et sans dérivation. La tension était ensuite enseignée avec les lois résultantes dans les deux types de circuits électriques. Puis, les conducteurs ohmiques et la loi d'ohm étaient étudiés. Comme suite au groupe focalisé du 2 février 2014, l'enseignante a décidé de modifier sa planification et d'aborder l'enseignement de l'électrocinétique à partir du champ expérimental de référence en faisant manipuler les élèves sur des circuits électriques simples, puis de plus en plus complexes pour leur faire découvrir, par l'intermédiaire de défis, les différents circuits électriques (sans/avec dérivation). Les symboles normalisés sont envisagés dans cet apprentissage et le savoir concernant les éléments théoriques tels que la loi

des nœuds et la loi des mailles est finalement institutionnalisé par l'enseignante à partir des schémas de circuits électriques des élèves.

4.3.2.1 Contexte

Cette séance se situe dans l'univers matériel et l'univers technologique. En effet, dans la progression des apprentissages, elle permet d'aborder des concepts relatifs à l'électricité sur les propriétés de circuits électriques. Les connaissances élaborées se rapportent par ailleurs à l'univers technologique puisque des notions d'ingénierie électrique sont également envisagées, notamment les fonctions de conduction, d'alimentation et de transformation de l'énergie par l'entremise de composants électriques utilisés dans les circuits électriques construits par les élèves. Lors des séances précédentes, ces derniers ont travaillé sur l'électricité statique qu'ils ont envisagée comme le transfert d'électrons entre deux matériaux. Ils abordent, lors de cette séance, les propriétés dynamiques de l'électricité par la construction de différents circuits électriques. La figure ci-dessous présente la place de la séance observée dans la progression des apprentissages (MELS, 2011).

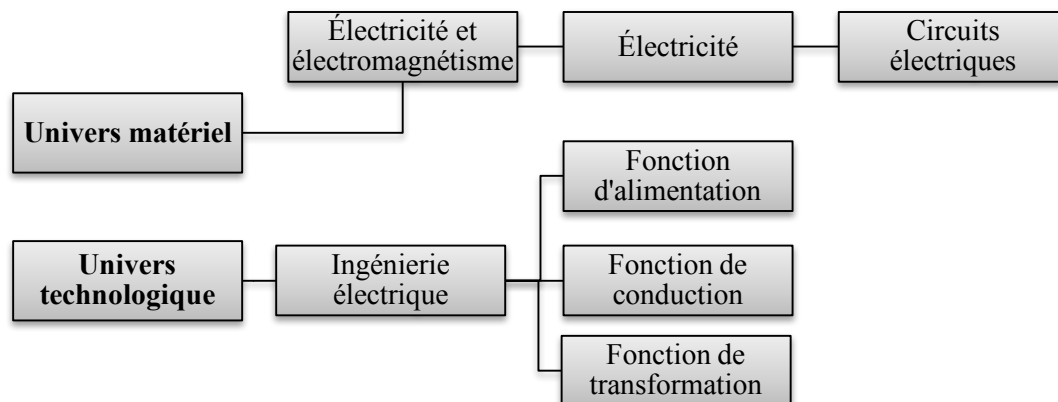


Figure 4.7 : Place de la séance d'électrocinétique dans la progression des apprentissages (MELS, 2011)

Le matériel est prêt, installé dans de petites boîtes mises à la disposition des élèves. Un tableau numérique interactif (TNI) côtoie le tableau noir en arrière du bureau de l'enseignante. Les élèves s'installent deux par deux et l'enseignante rappelle qu'il s'agit du bloc électricité et magnétisme. Elle précise qu'aujourd'hui, c'est l'électricité dynamique qui va être abordée par opposition avec l'électricité statique qui a fait l'objet des séances précédentes. Puis, elle écrit au tableau le titre de la séance : « *Autour des circuits électriques : du réel au modèle* ».

En guise d'introduction, l'enseignante partage avec les élèves un document technique sur un poste radio Marconi qu'elle projette sur le TNI (Appendice F). Elle précise que pour réparer un tel appareil, il faut être capable de lire des schémas électriques, mais aussi connaître les lois liées à l'électricité dynamique. Elle mentionne aussi que ce schéma est un modèle qui permet de comprendre le fonctionnement de l'appareil.

Ensuite, l'enseignante projette sur le TNI un document intitulé *Atelier sur les circuits électriques* (Appendice G) et invite la technicienne de laboratoire à présenter les différentes sources de courant mises à la disposition des élèves :

- les sources de courants continus : piles, batteries, générateur, dynamo;
- les sources de courant alternatif : prise de courant, génératrice, alternateur.

L'activité présente plusieurs défis aux élèves. Le premier défi consiste tout simplement à faire allumer une ampoule avec du matériel rudimentaire : deux fils, une ampoule 6 V et une pile 12 V. Les élèves ont pour consigne de dessiner leur petit montage. Ils sont par ailleurs confrontés à la difficulté de ne pas avoir beaucoup de matériel : les connexions ne sont pas fiables et au moindre mouvement, l'ampoule s'éteint. L'enseignante introduit alors le matériel électrique nécessaire : support de l'ampoule, fils avec cosse, interrupteur (fait avec une attache parisienne), etc. Elle compare les différentes productions d'élèves et précise que, par souci d'homogénéisation et de compréhension, il y a lieu d'introduire des symboles

normatifs qui représentent les différentes composantes d'un circuit électrique. Lors de l'activité suivante, les élèves représentent le circuit électrique précédent un utilisant les différents symboles normatifs. Ils ont pour consigne d'ajouter un interrupteur dans ce schéma, puis dans le circuit correspondant.

Les élèves réalisent ensuite un deuxième défi : fabriquer un circuit permettant de faire allumer deux ampoules. L'exercice ne leur pose pas de difficulté et tous débranchent un fil du circuit réalisé précédemment pour ajouter une deuxième ampoule et un fil. Une fois le circuit réalisé, ils le modélisent à l'aide des différents symboles normatifs.

Le troisième défi fait aussi appel à un circuit électrique utilisant deux ampoules, mais cette fois-ci, la consigne est de modifier le circuit précédent de façon à faire allumer une ampoule, même si l'on débranche l'autre. Ici, les difficultés rencontrées sont un peu plus nombreuses. Les élèves procèdent par essai-erreur. Certains arrivent assez vite aux résultats, d'autres ont besoin de se faire aider par la technicienne de laboratoire ou par l'enseignante. La modélisation du circuit électrique pose aussi problème, notamment au niveau des jonctions de fils et des nœuds de courants. L'enseignante demande alors l'attention de tout le monde pour décortiquer un nœud de courants et faire le lien avec le modèle symbole correspondant.

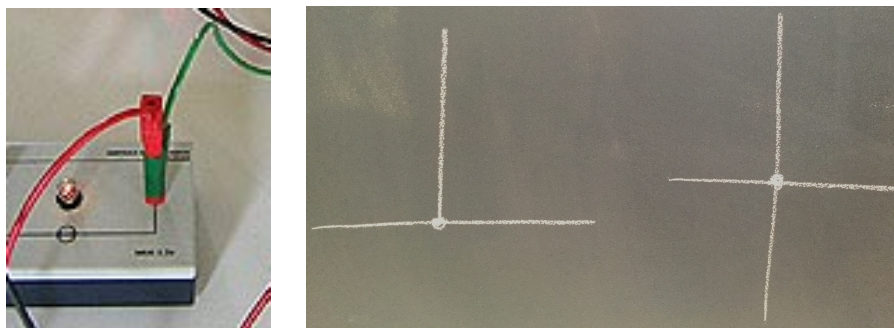


Photo 4.11 : Illustration d'un nœud de courants par l'enseignante E4 – Obs. n° 4 – 2014-01-

La plupart des élèves arrivent à visualiser le nœud de courant et à en déterminer le nombre dans leur circuit. L'enseignante les invite alors à comparer les différences entre les deux circuits électriques et introduit la notion de circuit en série et de circuit en dérivation.

E4 : Dans un circuit en série, comme le premier, tous les éléments se suivent comme à la queue leu leu. Si on débranche un fil, le courant ne circule plus nulle part. Ou si l'ampoule grille. Dans le deuxième montage. On a des nœuds, des « croisements » de fils : on a un circuit en dérivation ou parallèle. Si l'ampoule 1 grille, la 2 va continuer de briller.

Extrait de verbatim : Observation n° 4 – 2014-01-31 – [1 h 02 min]

Cette séance a été abordée lors du dernier groupe focalisé et l'enseignante a exprimé ses impressions.

C : Par rapport à l'observation en classe, est-ce que vous avez l'impression que les élèves ont été sensibles à la notion de modèle, par exemple dans la séance d'électrocinétique où tu es rentrée par le champ expérimental de référence?

E4 : Je me suis rendu compte que si vraiment je veux voir si ma nouvelle approche a donné des résultats, il faudrait que je regarde le pourcentage de réussite de ces questions-là. Je ne le sais pas.

C : Mais par rapport à la façon dont ils ont ressenti la séance.

E4 : Ils ont eu peu d'erreurs sur le dessin des circuits et l'examen de laboratoire s'est bien passé.

C : Et toi en tant qu'enseignante?

E4 : Bien! Et mon document a intéressé un de mes collègues qui a trouvé mon approche intéressante et il a ajouté une dernière activité où il a fait fabriquer une lampe de poche.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [1 h 15 min]

L'enseignante a réalisé un véritable changement dans sa pratique puisqu'elle envisageait auparavant la théorie en premier lieu avant de lancer les élèves dans des manipulations sur les circuits électriques. Cependant, on sent encore un manque d'aisance à laisser les élèves découvrir par eux-mêmes le champ expérimental de référence (Robardet & Guillaud, 1997). Ces derniers ont peu le loisir d'explorer les possibilités qui s'offrent à eux avec le matériel dont ils disposent sur la table. Le

document qui leur est proposé offre un canevas assez rigide qu'ils doivent suivre à la lettre et en évoluant à peu près tous au même rythme. Les élèves plus lents sont immédiatement secourus par la technicienne de laboratoire (TTP) qui prend la relève et leur montre la bonne solution, c'est-à-dire celle attendue dans le cahier de laboratoire.

4.3.2.2 Modèles et démarches de modélisation mis en œuvre par l'enseignante

La situation présente une exploration du champ expérimental de référence avec l'exploration de différents circuits à une maille (Appendice G), puis à plusieurs mailles (Appendice G). Cette situation est une entrée en matière *sine qua non* à une démarche de modélisation autour de l'électrocinétique. Elle doit précéder ce que Robardet et Guillaud (1997) qualifient de « premier modèle de l'électrocinétique » (p. 122) : « Ce modèle permet de calculer l'intensité du courant qui circule dans la branche du générateur. Il s'applique aux circuits dont les récepteurs fonctionnent en régime linéaire (résistors) et dans lesquels la résistance interne du générateur est négligée ». (p. 122)

Ainsi, l'exploration du champ expérimental de référence autorise les élèves à établir des relations empiriques qualitatives permettant de mettre en évidence l'interaction électrique qui existe entre les composantes d'un circuit. La séance observée n'aura cependant pas permis d'aller jusqu'au bout de cette exploration. Malgré tout, on peut considérer que les élèves ont été confrontés à un premier niveau de modélisation où ils ont dû utiliser les symboles des éléments d'un circuit électrique qui ont bien une fonction de représentation, soit pour schématiser un circuit électrique qu'ils ont construit, soit pour construire un circuit électrique représenté dans leur document de laboratoire. Ils ont dû, pour cela, effectuer des va-et-vient entre le champ empirique et le champ théorique.

La présentation des données a permis de dresser quelques constats que nous allons reprendre et approfondir dans le chapitre suivant. Les enseignants ont recours à plusieurs stratégies pour concilier le concret et l'abstrait. Ils utilisent des modèles dans leurs pratiques d'enseignement, mais à l'égard des élèves, cette utilisation reste latente et met en scène un réalisme naïf où le modèle et ses caractéristiques semblent aller de soi.

Des ajustements de pratique ont aussi pu être mis en évidence soit dans le discours des enseignants avec la volonté de rendre certaines démarches plus explicites, soit dans leur pratique d'enseignement où ils entrevoient l'avantage pour la compréhension des élèves de recourir aux modèles et aux démarches de modélisation de façon plus formelle.

Le dernier chapitre a pour objectif d'analyser et d'interpréter les données présentées et les résultats à la lumière de notre cadre théorique dans la volonté de répondre à notre question de recherche.

CHAPITRE 5

ANALYSE DES DONNÉES ET PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Dans ce chapitre, nous analysons les données présentées dans le chapitre précédent dans l'optique de répondre à la question de recherche qui est de comprendre comment la démarche de modélisation peut contribuer à l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement des sciences et de technologie au 2^{ème} cycle du secondaire, et ce, à travers différentes situations d'enseignement. L'analyse se fait à partir du corpus construit selon la logique suivante :

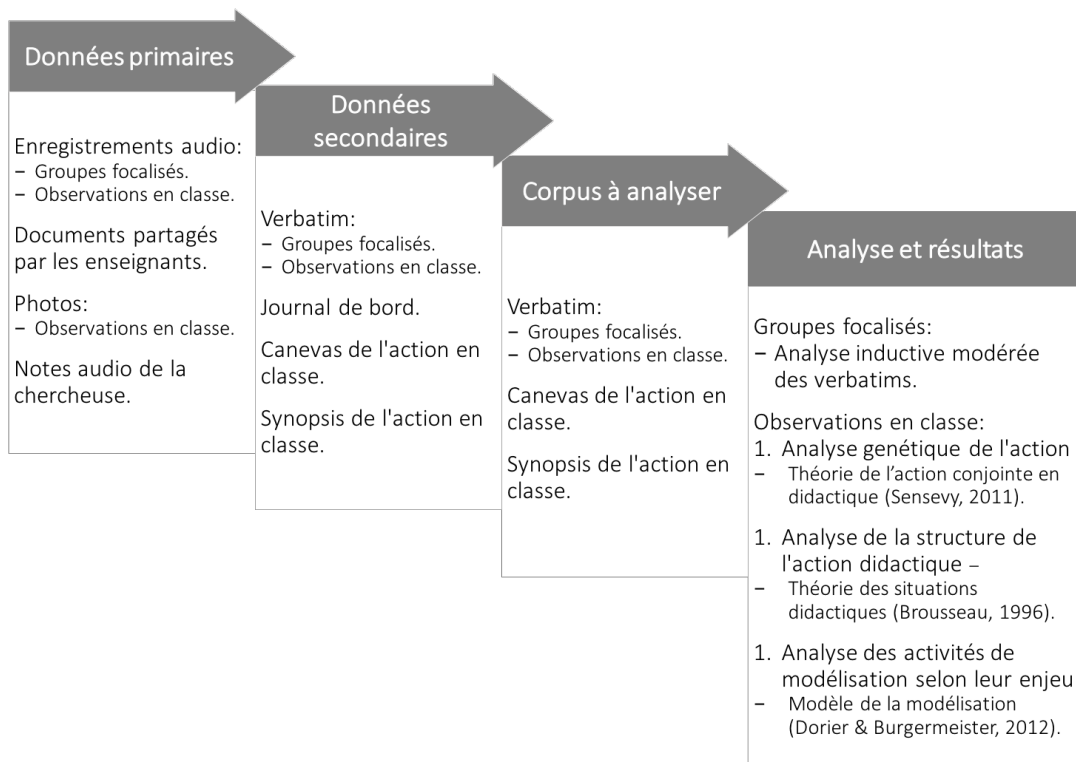


Figure 5.1 : Construction du corpus de données

Les tableaux synoptiques sont construits à partir de deux modes d'analyse : 1) une analyse génétique et 2) une analyse du jeu didactique. Ceci favorise l'émergence de liens entre les pratiques effectives qui transparaissent lors des observations en classe et les pratiques déclarées que le discours des enseignants sur leur pratique permet de faire surgir. Nous regardons ainsi les éléments d'analyse qui ressortent de ces tableaux synoptiques pour chaque séance observée en tissant des liens avec ce que les enseignants disent de leur pratique, lors des discussions avec la chercheuse, et lors des groupes de discussion qui sont aussi l'occasion de réflexions partagées sur ces pratiques (Tochon, 1996). Il est alors possible d'aller plus en profondeur dans l'analyse des pratiques d'enseignement en mettant en relation ces deux formes de pratiques que sont les pratiques effectives et les pratiques déclarées (Dehon & Derobertmasure, 2015). Dans cette perspective, nous analysons les pratiques d'enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.

5.1 Analyse des pratiques d'enseignement centrées sur les modèles et les démarches de modélisation

Nous examinons tout d'abord quelles stratégies les enseignants utilisent pour articuler le concret et l'abstrait. Puis, comme suite à la description faite dans le chapitre 4 des situations d'enseignement observées, nous explorons le potentiel de telles situations à l'égard de la démarche de modélisation. Ensuite, nous analysons les considérations didactiques des ajustements de pratique évoqués ou proposés par les enseignants qui mettent en jeu les modèles et la démarche de modélisation pour faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait, et ce, au regard des visées éducatives en S&T.

5.1.1 Analyse des stratégies utilisées pour concilier le concret et l'abstrait et évoquées par les enseignants lors des groupes focalisés

Une grille de lecture permet d'analyser les stratégies mobilisées par les enseignants en questionnant ces stratégies afin de déterminer si elles sont cohérentes avec le statut des modèles et peuvent correspondre à une démarche de modélisation. Dans ce contexte, nous faisons appel à la définition du modèle présentée en page 46, construite à partir de la définition des modèles donnée par Halbwachs (1974), et qui prend en compte les caractéristiques des modèles (Martinand, 2010) ainsi que les trois fonctions de représentation, explication et prédiction attribuées aux modèles (Amato-Imboden et coll., 2012; S. Bachelard, 1979; Bunge, 1973; Drouin, 1988). La figure ci-dessous rappelle cette définition du modèle qui appuie nos analyses.

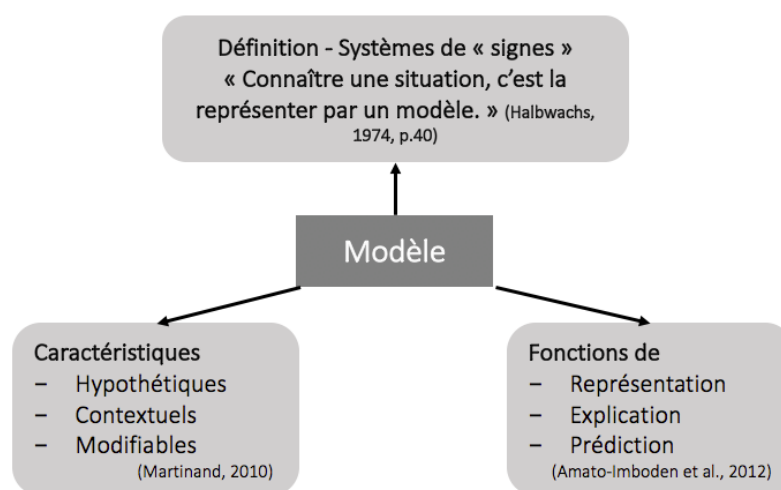


Figure 5.2 : Définition du modèle appuyant le cadre d'analyse

À partir de ces éléments, nous questionnons les stratégies évoquées par les enseignants afin de déterminer si elles sont cohérentes avec le statut des modèles et peuvent correspondre à une démarche de modélisation. Aussi, nous examinons si les différentes stratégies sont présentées et envisagées comme un modèle par les enseignants. Autrement dit, les stratégies sont-elles utilisées pour leur pouvoir explicatif relatif à un réel trop complexe ou inaccessible (S. Bachelard, 1978) dans une visée de

représentation, compréhension, de description ou de prédiction (Bunge, 1973; Jimenez-Valladares & Perales-Palacios, 2002)? En accord avec Drouin 1988, nous sommes néanmoins conscients que :

Toutes ces fonctions ne sont pas forcément présentes à la fois en un même modèle. Et par ailleurs, ces fonctions représentent des tendances plutôt que des catégories fermées. Un modèle peut avoir été construit pour une fonction et se révéler utile pour une autre. (p. 12)

Dans cette perspective, nous examinons si les stratégies recensées correspondent non pas à la simple utilisation d'un modèle, mais bien à un processus de modélisation qui « consiste à créer des liens entre une description d'un phénomène réel et une description du fonctionnement d'un modèle qui le remplace pour traiter certaines questions ou simplement "se représenter" » (Larcher & Peterfalvi, 2006, p. 830). Le tableau ci-après résume ces stratégies évoquées lors des groupes focalisés. D'autres stratégies, utilisées pendant des observations en classe, sont abordées lors de l'analyse de ces dernières.

Tableau 5.1 : Stratégies évoquées lors des groupes de discussion pour concilier le concret et l'abstrait

Stratégies évoquées par les enseignants		Fonctions identifiées
Graphisme	Schéma de la cellule	Expliquer
	Courbes et graphiques	Prédire
Analogie	Existence des atomes/Métaphore des pas dans la neige	Expliquer
	Agitation thermique/agitation des élèves dans la classe	Expliquer
	Solubilité/Chocolat en poudre	Expliquer
	Mole/douzaine d'œufs	Expliquer
	Discontinuité de la matière/bocal de sable	Expliquer
Maquettes	Cellule en pâte à modeler	Représenter Apprendre
	Maquette de cellule : ballon gonflable et boîte de mouchoirs	Représenter Expliquer
	Nerfs sensitifs – moteurs et mixte – cordes de différentes couleurs	Représenter Expliquer
	Modèles moléculaires/boules de styromousse	Représenter Expliquer

Parmi les différentes stratégies évoquées lors des groupes focalisés, on constate que la plupart sont utilisées par les enseignants pour expliquer et représenter un phénomène inaccessible par l'observation, ou abstrait, afin d'aider les élèves dans la juste compréhension de ce phénomène. Selon plusieurs auteurs (Guichard, 1994; Larcher, 1994, 1996; Martinand, 1992b), dans le contexte scolaire, la fonction la plus importante pour un modèle est celle de représentation. Elle « correspond dans l'apprentissage à la tâche décisive *[qui]* doit polariser au maximum l'attention des enseignants » (Martinand, 1992b, p. 17). Effectivement, les enseignants avancent ici plusieurs stratégies dans le but de représenter un phénomène afin d'aider les élèves à comprendre.

E1 : J'ai pris ça pour t'expliquer... C'est un modèle pour te faire comprendre.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 16 min]

Ces stratégies des enseignants évoquent en fait la première résonance du modèle avancée par Drouin (1988), celle d'image, de schéma ou d'objet concret comme une maquette :

Dire que « modèle » évoque les images et schémas, c'est dire qu'un modèle peut être un objet concret (maquette, modèle réduit), un schéma simplificateur (sous forme d'image concrète, ou de mise en rapport d'éléments divers, sans figuration) ou une métaphore, une analogie (avec ou sans figuration concrète). (p. 4)

Ainsi, mis à part les courbes et graphiques, les modèles proposés reposent sur la pensée analogique qui « est un exemple du fonctionnement de la compréhension puisqu'elle rend plus facile l'effort d'assimiler les éléments de l'explication scientifique aux notions familières » (Jimenez-Valladares & Perales-Palacios, 2002, p. 402).

Ces modèles, la plupart analogiques, permettent aux enseignants de donner « à voir » (Sanchez, 2008, p. 99) aux élèves une première représentation permettant « de ne pas s'en tenir à la sécheresse d'une structure abstraite » (Drouin, 1988, p. 4). Harrison et coll. (2008) considèrent que les modèles et les analogies sont utilisés fréquemment dans la vie quotidienne. Ils présentent un coût intellectuel relativement faible et permettent d'explorer rapidement un phénomène. Ils sont riches, multiples et font appel à une certaine créativité, ce qui en fait de remarquables outils pour penser. Par ailleurs, « la pensée analogique est un exemple du fonctionnement de la compréhension » (Jimenez-Valladares & Perales-Palacios, 2002, p. 402). En ce sens, les modèles sont indispensables pour améliorer la compréhension d'un phénomène et la construction de connaissances ou encore aider à la conceptualisation (Harrison & Coll, 2008; Sanchez, 2008). En cohérence avec les propos de Amato-Imboden et coll.

(2012), « comprendre » ou plutôt « faire comprendre » est une des fonctions principales qui caractérisent les stratégies évoquées par les enseignants en même temps que la fonction *expliquer*. Il semble en effet que la fonction essentielle de certains modèles est d'expliquer. En science, et notamment dans les sciences du vivant et de la Terre (SVT), « il existe une proximité forte entre explication et modélisation » (Lhoste, 2008, p. 11). Dans cette lignée, Drouin (1988) précise : « Expliquer est une fonction qui peut être liée au besoin didactique ou au moment d'élaboration de la pensée; l'explication pourra passer par l'analogie, ou par l'analyse des rapports entre les éléments du système qu'est le modèle » (p. 11).

Par ailleurs, les enseignants conçoivent plusieurs maquettes dans leurs pratiques d'enseignement. Rappelons ici la maquette sur les nerfs sensitifs, moteurs et mixtes réalisée à l'aide de cordes de différentes couleurs ou encore celle utilisant une boîte de mouchoir et un ballon gonflable pour représenter une cellule. Dans les différents cas abordés, ces maquettes sont construites par l'enseignant de façon à être présentées aux élèves pour leur expliquer un concept difficilement accessible par l'observation directe. Nous sommes face à un objet concret (maquette, modèle réduit) qui rencontre les fonctions de représentation et de prédiction. Cet objet concret n'est pas la réalité, mais il permet de représenter certaines des caractéristiques de l'objet abstrait correspondant. Cependant, les enseignants mettent peu ces caractéristiques en avant : l'objet en question est alors plus présenté que questionné. Il devient une sorte d'objet prototypique donné aux élèves, un aboutissement qui permet peu les discussions. Il en est ainsi des deux modèles liés à la constitution et à la transformation de la matière : les modèles atomiques et le modèle particulaire que les enseignants utilisent de manière implicite lors de l'étude des transformations de la matière qu'ils évoquent à plusieurs reprises lors des groupes focalisés.

Dans le PFEQ (Québec. Ministère de l'Éducation du Loisir et du Sport, 2007a), les modèles atomiques sont présents dans l'Univers matériel, comme le rappelle la figure ci-dessous.

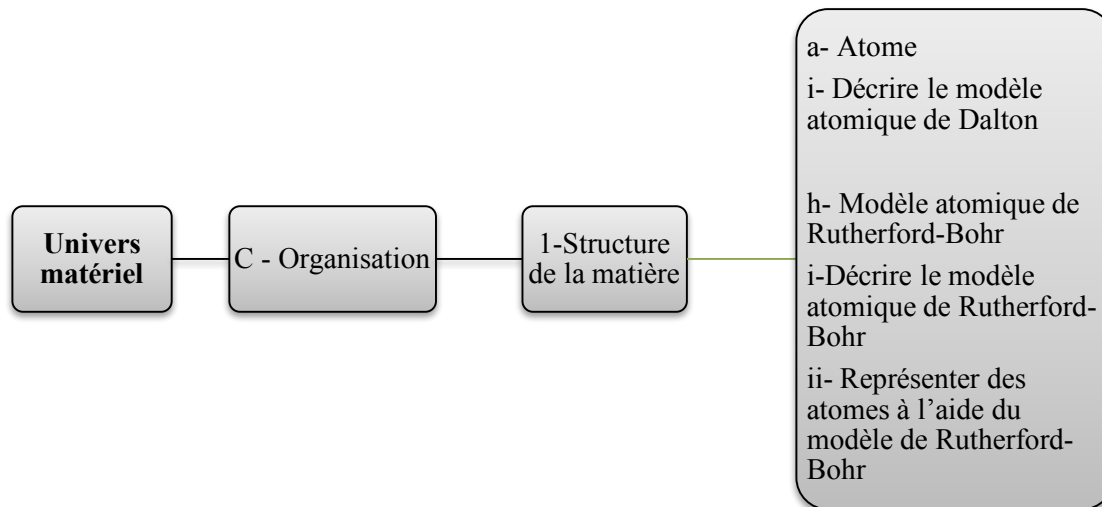


Figure 5.3 : Modèles de l'atome abordés dans le PFEQ

Ainsi, les enseignants abordent les modèles atomiques en utilisant l'histoire des avancées scientifiques relatives à l'atome :

E2 : Moi je pars de l'histoire de l'atome, son évolution. Moi, je ne prends pas de chance, je leur montre tout dans un seul cours! Je leur dis « en science, quelque chose est vrai jusqu'à preuve du contraire. Donc ce modèle-là il a été accepté jusqu'à ce que celui-là, jusqu'à celui-là, etc. ».

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 00 min]

Mais lors de cet enseignement des modèles atomiques, la succession des différents modèles inventés au cours des siècles n'est pas abordée précisément en termes de contextes, de limites et d'évolution d'un modèle vers un autre. Cela semble créer une certaine confusion dans la tête des élèves qui ont l'impression que les notions qui leur

ont été enseignées sont erronées ou fausses par rapport à celles qu'ils envisagent lors d'un nouvel enseignement.

E2 : Donc oui, ils ont tendance à tenir pour acquis tout ce qu'on leur dit... comme étant vrai. Pour eux autres, ce qu'ils ont vu avec nous, après c'est fini : on leur a montré le *top* du *top*. Mais parfois, je leur dis : « plus loin vous allez voir que c'est plus complexe que ça, mais pour cette année c'est correct ».

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 06 min]

Or, selon Halbwachs (1974, 1975), les modèles que nous construisons ne sont jamais une représentation exacte de la situation que nous tentons de représenter : « Tôt ou tard nous trouvons des divergences, soit lorsqu'on atteint un ordre de précision expérimentale plus élevé, soit lorsqu'on étend le champ de la situation à des phénomènes nouveaux, connexes aux anciens et nécessairement liés à eux. » (Halbwachs, 1975, p. 20)

Il devient alors nécessaire d'envisager un nouveau modèle sans pour autant rejeter le modèle précédent qui endosse le rôle de cas particulier ou bien de première approximation du nouveau modèle ainsi construit, appelé modèle supérieur, par rapport à l'ancien modèle appelé modèle inférieur. Ainsi, l'« histoire de la physique parcourt la succession des modèles emboîtés, décrivant des théories de plus en plus puissantes qui englobent un nombre de plus en plus grand de situations et de domaines. » (*Ibid.*)

Le modèle supérieur peut ainsi emboîter un ou plusieurs modèles inférieurs. Toujours selon Halbwachs (1975), ce statut de modèle inférieur ne prive pas de tels modèles de leur autonomie. Cette position serait insoutenable d'un point de vue didactique :

Elle imposerait un exposé de la physique qui commencerait par les notions les plus difficiles à saisir et à manier, et dans lequel les phénomènes les plus communs et les plus apparents ne figureraient qu'en des annexes auxiliaires, alors que c'est à eux que se rattachent dans l'intuition les notions les plus prégnantes. (p. 20)

Un réalisme naïf pousse donc les élèves à croire que le modèle est vrai. Souvent, le langage de l'enseignant lui-même invite à envisager le modèle comme s'il était la situation elle-même, lui donnant ainsi un statut de réalité (Halbwachs, 1974), d'où la difficulté pour les élèves d'envisager l'apprentissage de cette succession de modèles atomiques. On constate dans les échanges précédents que les enseignants se sont frottés à de telles difficultés et qu'ils ont ajusté leur pratique en envisageant d'enseigner la succession des modèles atomiques.

E3 : Moi, j'ai changé mon approche du modèle atomique. Ils prenaient tellement cela au sérieux! Je ne leur donnais pas le dernier modèle. Je commençais au début sans leur dire qu'on allait arriver là. Quand j'arrivais pour changer et passer à un nouveau modèle, ils étaient presque fâchés après moi, comme si je me contredisais ou que je leur racontais des niaiseries! **Je vais accentuer le fait que le modèle, ça évolue,** puis leur dire « on va se rendre jusque-là ».

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 00 min]

Pour aller plus loin, il serait judicieux d'insister sur le fait que le modèle n'est pas la réalité, mais bien une représentation de celle-ci (Martinand, 2010a). Dans ce contexte, envisager la limite de chaque modèle semble indispensable. Halbwachs (1974) évoque quant à lui la conformité d'un modèle :

Ainsi, la reconnaissance des limites du domaine de conformité d'un modèle, la mise en évidence des faits aberrants et la découverte d'un modèle supérieur, valable dans un champ plus large, qui rende compte tout ensemble des faits impliqués par l'ancien modèle et des faits nouveaux qui lui échappaient, ne doivent pas faire oublier, n'effacent pas le moins du monde la validité et la conformité de l'ancien modèle dans son domaine d'application, validité qui est en dernière analyse la source de l'efficacité du modèle, de sa capacité à fonder une technologie spécifique, nullement caduque, nullement démodée. (p. 113)

Or, les limites des modèles sont rarement évoquées en profondeur avec les élèves. Pourtant, ces derniers sont capables d'entrevoir de telles limites. Les enseignants rapportent certaines réflexions qui le laissent envisager, comme lorsqu'un enseignant utilise la métaphore de l'agitation des élèves dans la classe pour imager le concept

d'agitation thermique. Un élève, très critique, met le doigt sur la limite de cette analogie en ironisant sur le fait que l'on devient amorphe lorsqu'il fait chaud.

Ces réflexions sont négligées par les enseignants, alors qu'elles pourraient servir de prétexte à une prise de conscience du statut des modèles en S&T et de leurs limites, pour engager les élèves dans une démarche de modélisation où il serait possible de leur demander, par ricochet, d'imaginer un nouveau modèle, autre que celui présenté par l'enseignant. Plutôt que l'exposition des faits, ce sont alors les relations qui prédominent dans un tel enseignement : relations entre modèles ou relation entre un modèle et la réalité qu'il représente. Dans cette perspective, l'enseignement des S&T devient alors objet de construction du savoir plutôt qu'objet de présentation et d'explication du savoir.

En ce qui concerne les modèles particuliers, les enseignants ont recours à des boules de styromousse pour « montrer » les trois états et les transformations physiques de la matière. Ce modèle est utilisé pour expliquer certaines propriétés de la matière ou « matérialiser » les atomes qui sont représentés par des boules (Cf extrait p. 143). Un tel modèle n'est pas sans rappeler le modèle particulaire. Cependant, le statut du modèle reste implicite.

E2 : On en fait, mais, on ne le dit pas, on ne s'en rend pas compte.

E3 : Oui, on en utilise beaucoup, mais sans le dire.

E1 : Moi je n'en parle pas... en fait, on se sert du modèle. Mais on n'y passe pas trois jours.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [0 h 21 min]

Le PFEQ (2005) recommande pourtant de recourir au modèle particulaire pour aborder les transformations de la matière aussi bien physique que chimique :

L'observation du comportement de la matière au cours de ces transformations constitue le point de départ de la construction d'un modèle particulaire de la matière, qui rassemble toutes les qualités d'un bon modèle : il met en relation

différentes observations, il explique les comportements observés, il permet d'en prédire de nouveaux et il est perfectible. (MELS, 2007, p. 37)

Il est aussi fait mention de ce modèle particulière à plusieurs reprises dans la progression des apprentissages (MELS, 2011), comme le montre la figure ci-après.

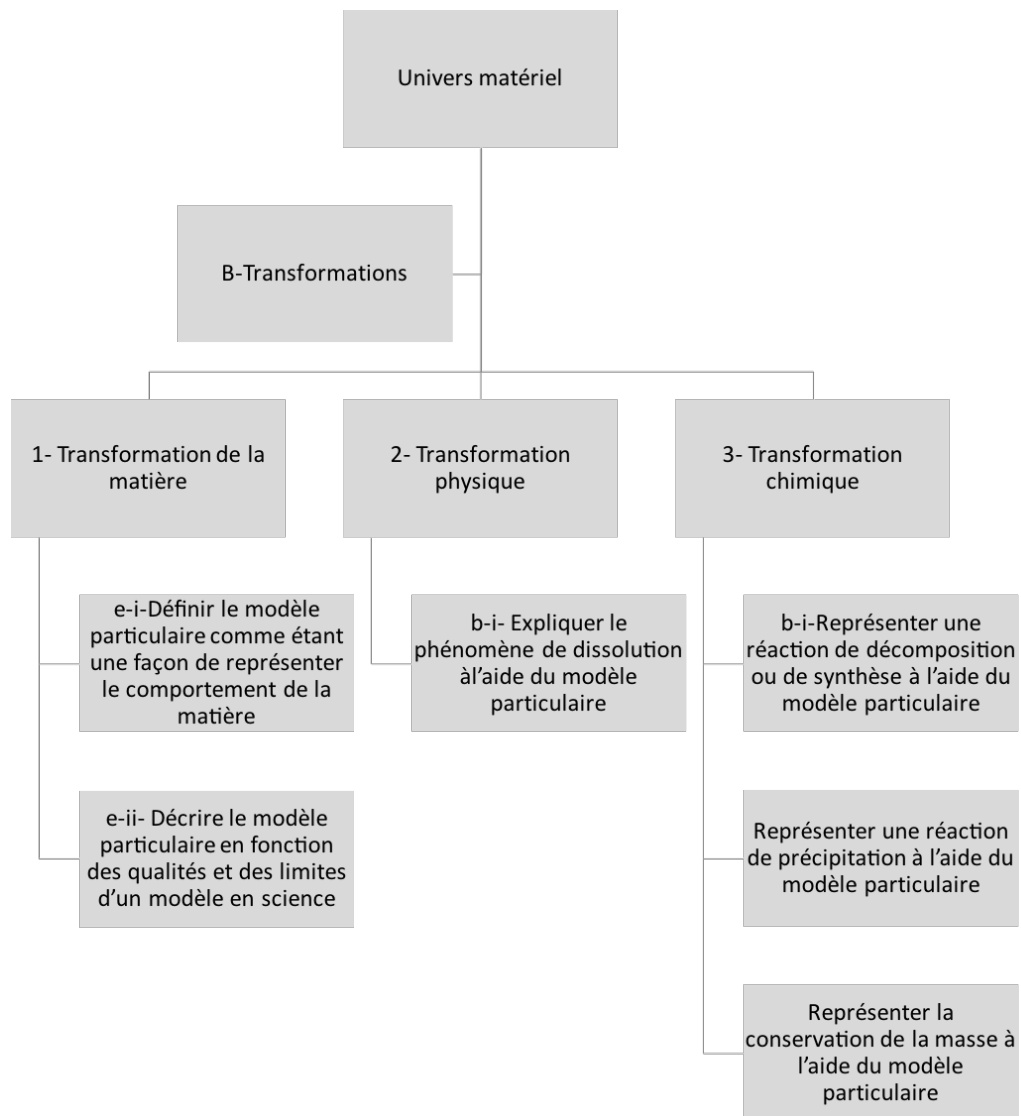


Figure 5.4 : Mention du modèle particulaire dans le PFEQ

Il est donc bien spécifié que le modèle particulière doit être défini « comme étant une façon de représenter le comportement de la matière » (MELS, 2011, p. 9) et décrit « en fonction des qualités et des limites d'un modèle en science » (*Ibid.*). Ce modèle particulière a par ailleurs fait l'objet de nombreuses recherches en didactique des sciences (Chomat et coll., 1988, 1992) : « Ces modèles particuliers constituent pour les sciences de la matière, un ensemble extrêmement riche, tant du point de vue des modes de figuration qui leur sont associés (maquettes, images) que de leurs fondements théoriques (Chomat et coll., 1992, p. 121). Ils sont de plus adaptables dans de nombreux domaines scientifiques : biologie, chimie, physique (Chomat et coll., 1992). Mais, le modèle évoqué par l'enseignante est convoqué dans une visée explicative et il n'est pas exploré quant à ses autres propriétés et caractéristiques, notamment celles de représentation et de prédiction. Par ailleurs, les enseignants ne précisent pas si ce modèle qui rejoint le modèle particulière est utilisé pour expliquer les transformations chimiques. Les équations-bilans des réactions chimiques sont pourtant évoquées et utilisées lors d'une observation en classe (cf. p. 147), ce que nous verrons ultérieurement lors de l'analyse de cette séance.

Les différentes stratégies envisagées sont donc bien des modèles, selon la définition que nous avons adoptée de Halbwachs (1974). Elles correspondent en effet à un système de signes qui vise à comprendre une situation physique du « monde réel ». Ces signes peuvent être des symboles, des figures, des graphiques, des formules mathématiques, ou encore des propositions formées avec des mots. Ces stratégies renvoient au moins à l'une des fonctions caractéristiques d'un modèle. Ainsi, une fonction essentielle du modèle, celle de prédire (Martinand, 1992b, 2010a; P. Roy & Hasni, 2014; Sanchez, 2008), est envisagée par les enseignants à propos des courbes et graphiques lorsque ceux-ci envisagent, lors du deuxième groupe focalisé, l'étude des réseaux trophiques, ou encore l'étude de l'évolution de streptocoques dans la gorge en fonction des antibiotiques utilisés (cf. p. 132 et p. 133). Lors de ce groupe focalisé, nous avons proposé aux enseignants un outil (Amato-Imboden et coll., 2012)

permettant de situer les activités de modélisation à l'aide d'une grille d'analyse à deux dimensions (Annexe O). Cet outil a permis une réflexion sur les activités de modélisation que les enseignants engagent avec leurs élèves. Ils ont pu se questionner et analyser l'usage qu'ils faisaient des modèles entre les fonctions « décrire », « expliquer » et « décider/prédire ».

Il s'agit d'une réelle prise de conscience pour les enseignants. L'intérêt de telles discussions est avant tout « d'amener l'enseignant à prendre conscience des enjeux et à s'interroger sur la nature du processus mis en œuvre par les élèves dans une activité particulière de modélisation » (Amato-Imboden et coll., 2012, pp. 14-15). Le fait de leur proposer un outil leur permet de réfléchir à la tâche demandée et de constater sa difficulté, puisque, dans les exemples donnés, c'est bien la fonction ultime du modèle qui est envisagée : prédire, pour décider, puisque selon Drouin (1988), « prévoir est la fonction liée à l'aspect mathématisé ou formel du modèle; la prévision mettra en rapport le modèle et le réel et cette mise en rapport pourra servir à tester le modèle. » (p. 11)

Cependant, c'est principalement la fonction de représentation, avec la volonté, de la part des enseignants, d'expliquer afin de faire comprendre aux élèves un phénomène abstrait ou inaccessible, qui est utilisée. Il est intéressant de se questionner sur le statut de cette fonction explicative. Toute explication se veut une réponse à un pourquoi (Jimenez-Valladares & Perales-Palacios, 2002). Mais, selon Bunge (1983), une explication peut être interprétative ou subsomptive. Cette dernière permet d'expliquer un phénomène en se référant à des explications plus générales ou à des lois et théories déjà établies. L'explication interprétative, basée sur la pensée hypothético-déductive, est plus riche sur le plan intellectuel et psychologique puisqu'elle s'intéresse au *modus operandi* du phénomène (Jimenez-Valladares & Perales-Palacios, 2002). Dans une volonté d'explication interprétative, les images fournissent des signes visuels censés favoriser la compréhension. Pourtant,

l'explication, même interprétative, n'implique pas forcément la compréhension : « Le problème de l'*explication interprétative* par rapport à la *compréhension* est que la première s'appuie sur les principes et concepts scientifiques, tandis que la deuxième se base sur les connaissances individuelles qui leur sont assimilables (Jimenez-Valladares & Perales-Palacios, 2002, p. 404).

Dans cette perspective, il ne peut y avoir de construction de connaissances sans que soient prises en compte les conceptions des élèves sur le phénomène étudié (Giordan, 1999; Johsua & Dupin, 1993; Robardet & Guillaud, 1997). « Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question » (G. Bachelard, 2004). L'explication répondant à un « pourquoi » doit rencontrer une démarche de problématisation d'un savoir scientifique que l'élève construit (Orange, 2005). Ainsi, le modèle fourni par l'enseignant, même très ingénieux, peut se révéler inadéquat si les élèves ne comprennent pas les relations qui existent entre la représentation proposée par l'enseignant, le modèle conceptuel et la réalité expérimentale qui lui correspondent.

Pour aller plus en profondeur dans l'analyse, il s'agit maintenant d'analyser les pratiques observées en classe pour comprendre 1) comment se fait la gestion des modèles et de la démarche de modélisation et 2) comment les modèles et la démarche de modélisation peuvent contribuer à l'articulation du concret et de l'abstrait.

5.1.2 Analyse des observations en classe

Ces observations concernent quatre séances différentes, avec trois enseignants. L'analyse se fait selon les trois perspectives déjà évoquées qui concernent 1) une analyse génétique de l'action didactique afin de saisir comment la gestion des activités de modélisation intervient dans la construction des savoirs 2) une analyse de la structure de l'action didactique afin de cerner la place des activités de modélisation

dans le jeu didactique et 3) une analyse des activités de modélisation selon leur niveau afin de comprendre leur enjeu didactique.

5.1.2.1 Construction d'un simulateur du péristaltisme

Lors de cette observation, nous découvrons que c'est le stagiaire qui prend la classe en main, sous la supervision de l'enseignant titulaire. Il n'a donc pas participé au groupe focalisé du 23 octobre 2013. Différentes activités de modélisation ressortent du synopsis relatif à la séance d'observation sur le péristaltisme (Annexe P) comme le présente le tableau ci-dessous.

Tableau 5.2 : Activités à propos des modèles et la démarche de modélisation – Observations du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme

Modélisation envisagée	Modèle utilisé
Modélisation du péristaltisme	Récit : reprise par l'enseignant de la mise en situation : « Qu'est-ce que vous allez construire aujourd'hui? Ce petit modèle de péristaltisme. »
	Récit : dialogue entre d'un élève et l'enseignant relativement à la manipulation du modèle
	Récit : tâche 5 – Analyse des forces et faiblesses du modèle
	Maquette : construction d'un simulateur de péristaltisme
Modélisation de la digestion	Graphique : cartes conceptuelles sur la digestion

L'objectif d'apprentissage étant centré sur la construction du simulateur de péristaltisme, nous allons nous intéresser aux modélisations concernant cet objectif et laisser de côté ce qui concerne plus généralement la digestion, ces notions étant abordées en marge de la séance, sous forme d'exercice, en prévision d'une évaluation prochaine. Ce sont donc les activités de modélisation relatives au péristaltisme qui retiennent notre attention dans l'analyse qui suit.

Le synopsis (Annexe P) met en évidence différentes modalités de travail. La lecture à voix haute de la mise en situation favorise un premier contact avec les élèves. Ce moment permet à la classe de se concentrer sur le travail à réaliser. Puis, les interventions de l'enseignant s'inscrivent dans différentes catégories (Van der Maren, 1995) qui vont nous permettre de décrire les pratiques d'enseignement et que nous classifions comme suit.

Tableau 5.3 : Répertoire des pratiques de l'enseignant E5 – Observations du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme

Catégories	Définitions	Action de l'enseignant
Gestion de classe	Interventions de l'enseignant relatives à la gestion de la classe	<ul style="list-style-type: none"> – Fait l'appel – Ramène le calme – Attire l'attention – Organise l'activité
Exposé magistral	L'enseignant s'adresse aux élèves qui écoutent afin de : <ul style="list-style-type: none"> – Introduire – Définir – Expliquer – Présenter un élément relié à la discipline et le sujet étudié	<ul style="list-style-type: none"> – Présente la SAÉ – Explique la construction de l'objet technologique – Explique les règles de sécurité
Activités interactives	Guidage : l'enseignant répond aux questions des élèves	<ul style="list-style-type: none"> – Répond aux questions techniques liées à la construction de l'objet

Lors de cette activité, les pratiques envisagées sont essentiellement magistro-centrées (Marcel, 2002) et les moments où l'enseignant s'adresse aux élèves pour leur présenter les éléments de la SAÉ démontrent peu d'interactions. Des interventions reliées à la gestion de classe émaillent aussi les deux séances observées.

5.1.2.1.1 Analyse génétique de l'action

En nous référant au canevas de l'action didactique (Annexe K), nous pouvons appréhender les éléments relatifs à la genèse de l'action. Rappelons que la mésogenèse s'intéresse à l'agencement du milieu et donc au processus par lequel l'enseignant construit le milieu (Forest, 2008). Le questionnement mésogénétique est structuré autour de questions qui envisagent « le quoi et le comment quoi » (Sensevy, 2011b). Il est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 5.4 : Mésogenèse – Observations du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme

QUESTIONNEMENT MÉSOGENÉTIQUE : QUOI/COMMENT QUOI		
Quel modèle est proposé et comment?	Qu'est-ce qui permet de justifier l'utilisation du modèle?	Qu'est-ce qui justifie l'évolution, le changement du modèle?
Modélisation du péristaltisme : – Maquette : construction d'un simulateur de péristaltisme – Récit : reprise par l'enseignant de la mise en situation – Récit : dialogue entre un élève et l'enseignant relativement à la manipulation du modèle – Récit : tâche 5 – Analyse des forces et faiblesses du modèle	L'activité de technologie sert de prétexte à la construction d'un modèle de type maquette. <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> Qu'est-ce que vous allez construire aujourd'hui? Ce petit modèle de péristaltisme. » </div>	Non envisagé. Pourtant une question de la chercheuse à un élève permet à ce dernier d'entrevoir une évolution possible du modèle : remplacer la bille par un liquide.

Dans cette activité de construction d'un simulateur de péristaltisme, il est difficile de cerner l'objet de savoir en jeu. Est-ce le péristaltisme que le simulateur permet de représenter, d'expliquer? Est-ce une construction technologique? Dans les deux cas, il n'y a pas de réelle problématisation. D'un point de vue mésogénétique, il semble que ce soit l'activité technologique proprement qui soit l'objectif de la séance. Certes,

l'enseignant évoque la construction d'un modèle, mais sans entrer dans le détail de sa signification sur le plan épistémique. Nous allons maintenant voir dans les analyses suivantes *quand* et *comment quand* les activités liées aux modèles sont mises en évidence et évoluent durant la séance.

Tableau 5.5 : Chronogenèse – Observations du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme

QUESTIONNEMENT CHRONOGENÉTIQUE : QUAND/COMMENT QUAND			
Modèles envisagés	Quand l'introduction du modèle est-elle rendue nécessaire et comment?	Quand le modèle envisagé ne paraît-il plus efficient et comment?	Quand la nécessité de faire évoluer/d'abandonner le modèle, d'en construire un nouveau est-elle survenue et comment?
Modélisation du péristaltisme : – Maquette : construction d'un simulateur de péristaltisme – Récit : reprise par l'enseignant de la mise en situation – Récit : dialogue entre un élève et l'enseignant relativement à la manipulation du modèle – Récit : tâche 5 – Analyse des forces et faiblesses du modèle	Dès le début de séance, l'introduction du modèle est nécessaire puisque l'activité technologique est centrée avant tout sur la construction de la maquette.	À la fin de la première séance de 30 min, un élève manipule la maquette que l'enseignant a déposée sur son bureau afin de montrer aux élèves le produit fini. Il se questionne sur l'efficacité du modèle : <div style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px; margin: 10px 0;"> é : « Hey Monsieur, comment on fait pour le faire vomir si on n'a pas le droit de toucher aux choses de la bille? » </div>	Faire évoluer le modèle : – Lorsque, questionné par C, un élève en abordant les limites propose de remplacer la bille par un liquide – sans toutefois préciser en quoi ceci pourrait améliorer le modèle. Pas de nouveau modèle envisagé, mais une modification suggérée, par un élève questionné par C : remplacer la bille par un liquide

Cette analyse chronogénétique nous confirme que c'est bien l'activité technologique qui justifie le recours à un modèle. L'enseignant n'aborde pas le modèle en le questionnant sur sa fonction de représentation d'une situation qu'il permet de comprendre. En ce sens, le modèle ne constitue pas l'enjeu mésogénétique ou chronogénétique de la séance. C'est la construction de la maquette qui en est le centre. La pratique d'enseignement et l'avancée de la chronogénèse sont structurées par la relation pédagogique qui se trouve gouvernée par la méthodologie du travail scolaire (Marcel, 2002). Le questionnement topogénétique présenté ci-dessous permet à présent d'envisager le partage de la responsabilité de la construction du savoir dans la classe.

Tableau 5.6 : Topogénèse – Observations du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme

QUESTIONNEMENT TOPOGÉNÉTIQUE : QUI/COMMENT QUI				
Modèles envisagés	Qui a introduit le modèle et comment?	Qui a envisagé les limites du modèle utilisé et comment?	Qui a proposé un nouveau modèle et comment?	Qui s'engage sur la voie d'une démarche de modélisation et comment?
Modélisation du péristaltisme : – Maquette : construction d'un simulateur de péristaltisme – Récit : reprise par l'enseignant de la mise en situation – Récit : dialogue entre un élève et l'enseignant relativement à la manipulation du modèle – Récit : tâche 5 – Analyse des forces et faiblesses du modèle	E introduit le terme de modèle sans le définir.	Les élèves, dans la tâche 5 de leur document, tentent d'indiquer les forces et les limites du modèle.	Un élève suggère une modification qui ne peut toutefois s'apparenter à un nouveau modèle.	Certains élèves : – Questionnent les fonctions d'explicitation et les limites du modèle – Effectuent une évaluation globale du modèle (limites – améliorations – tâche 5) – Ces points ne sont pas abordés par E.

D'un point de vue topogénétique, c'est l'enseignant qui introduit la notion de modèle et le modèle lui-même en désignant la maquette déjà construite sur son bureau. Il n'en précise cependant pas les caractéristiques. La démarche de modélisation vue comme une élévation conceptuelle (Martinand, 2010) n'est pas ici envisagée. Pourtant, les fonctions d'explicitation (Larcher, 1996) et les limites du modèle sont questionnées par certains élèves, notamment dans la tâche 5 qui permet une évaluation globale du modèle en abordant ses forces et faiblesses, donc ses limites et qui pourrait être l'occasion de proposer des améliorations à celui-ci (Martinand 1994). Or, ces points ne sont pas abordés par E.

On constate que les interventions de l'enseignant sont essentiellement tournées vers la gestion de classe et l'exposé magistral. « La gestion de classe peut être définie comme l'ensemble des pratiques éducatives utilisées par l'enseignant afin d'établir et de maintenir dans sa classe des conditions qui permettent l'enseignement et l'apprentissage » (Chouinard, 1999, p. 497). Il s'agit d'un aspect crucial de la tâche d'enseignement qui représente un facteur primordial dans la réussite scolaire (Wang, Walberg & Haertel, 1993). L'enseignant concerné par cette séance sur le péristaltisme débute dans la profession, puisqu'il effectue son stage 4. Or, selon Fontaine, Kane, Duquette et Savoie-Zajc (2012), c'est à partir de leur deuxième année que les enseignants commencent à être moins stressés par la gestion de classe qui représente un « défi permanent = *an ongoing challenge* » (p. 391) lors de la première année d'enseignement. On peut donc penser que la préoccupation des enseignants débutants est majoritairement tournée vers la gestion de classe, plus que vers la mise en place d'objets de savoir.

5.1.2.1.2 Analyse du jeu didactique

L'analyse de la structure de l'action didactique s'intéresse à la façon dont le savoir relatif aux modèles et à la démarche de modélisation est défini, dévolué, régulé, puis

institutionnalisé en classe. Lors de cette analyse nous interrogeons 1) ce que l'enseignant fait pour engager l'élève dans le jeu d'apprentissage et pour qu'il prenne la responsabilité du travail (Forest, 2008); 2) ce qu'il fait pour s'assurer que l'élève sache à quel jeu il doit jouer et comment il le fait (Forest, 2008); 3) ce qu'il fait et ce qu'il met en place pour que l'élève produise une stratégie gagnante (Forest, 2008) et; 4) ce qu'il fait pour entériner une connaissance ou un comportement. Ces questionnements sont considérés par rapport à l'usage des modèles et démarches de modélisation. C'est ce que présentent les tableaux suivants :

Tableau 5.7-a : Condition de dévolution – Observations du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme

Que fait l'enseignant pour engager l'élève dans le jeu d'apprentissage et pour qu'il prenne la responsabilité du travail?
L'enseignant précise-t-il aux élèves qu'ils vont utiliser, manipuler, construire des modèles?
E dit aux élèves qu'ils vont construire un modèle de péristaltisme.
Construction d'une maquette.

Tableau 5.7-b : Condition de définition – Observations du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme

Que fait l'enseignant pour s'assurer que l'élève sache à quel jeu il doit jouer et comment le il le fait?
L'enseignant explique-t-il aux élèves le rôle, le statut des modèles?
Non.
E ne précise pas ce qu'est un modèle.

Tableau 5.7-c : Condition de régulation – Observations du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme

Que fait l'enseignant et ce qu'il met en place pour que l'élève produise une stratégie gagnante?
L'enseignant incite-t-il les élèves à « jouer » avec les modèles : laisse-t-elle les élèves utiliser, manipuler, construire, inventer des modèles?
Le modèle n'est ici perçu que comme une maquette produite d'une construction technologique.
Les élèves se contentent de suivre le plan de construction et de faire bouger la bille avec les petits bouts de bois.

Tableau 5.7-d : Condition d'institutionnalisation – Observations du 2014-01-17 & 20 –
Péristaltisme

Que fait l'enseignant pour entériner une connaissance ou un comportement?
L'enseignant a-t-il recours aux modèles pour institutionnaliser le savoir envisagé?
Le modèle reste figé dans son rôle d'objet technologique.
Il n'y a pas de lien fait par E pour institutionnaliser le savoir (voir dernière rencontre, déclaration de E2).

Il ressort de ces éléments que le modèle envisagé, présenté dans la SAÉ comme un simulateur du péristaltisme, reste figé dans son rôle d'objet technologique. Malgré la présence de plusieurs modélisations possibles dans la SAÉ, ces activités restent rares. Globalement, l'approche privilégiée peut être considérée comme assez directive (De Ketele, Chastrette, Cros, Mettelin & Thomas, 1988). Les élèves suivent un plan de montage qu'ils exécutent en utilisant de manière adéquate les outils mis à leur disposition (mesures et tracés avec une règle), tandis que le découpage est délégué à la technicienne de travaux pratiques (TTP). Leur production peut à tout moment être comparée avec le produit fini mis à leur disposition sur le bureau de l'enseignant.

Selon El Fadil & Hasni (2016), toutes les démarches de construction technologique tournent autour des trois moments-clés suivants : 1) comprendre le problème technologique; 2) planifier et mettre en œuvre une démarche; 3) concevoir une solution optimale au problème. Mais, la situation ici n'est pas problématisée et ce sont essentiellement des savoirs et savoir-faire procéduraux qui sont développés (Le Boterf, 2000). Le « problème » appelé est donné et connu. Une méthode standard pour le résoudre est fournie à l'élève qui est certain d'arriver à la solution dans un nombre fini d'étapes s'il suit correctement le protocole (Franske, 2009). Or, selon plusieurs auteurs (El Fadil & Hasni, 2016; Franske, 2009; Jonassen, 2000; Jonassen, Strobel & Lee, 2006), il est possible de distinguer trois types de problèmes utilisés lors d'une démarche de construction technologique : 1) *puzzle problem* ou problème de type casse-tête; 2) *well-structured problem* ou problème bien défini; 3) *ill-structured problem* ou problème mal défini. La construction du simulateur de

péristaltisme est un problème de type casse-tête. De tels problèmes sont caractérisés par une seule solution correcte qui est atteinte en suivant une procédure spécifique (Jonassen, 1997). L'auteur avance que de tels problèmes sont peu pertinents pour l'apprentissage scolaire.

Lorsque ce travail manuel est terminé, les élèves se concentrent sur un document élaboré où le principal travail consiste à remplir des cases vides. Ce document présente deux cartes conceptuelles qui pourraient être considérées comme des modèles, en ce sens qu'elles schématisent le fonctionnement de la digestion en faisant ressortir le rôle des différents organes (Appendice C). Peu de liens sont établis entre les différents modèles ou entre les diverses parties d'un même modèle.

E : Là, ils ont des documents avec la SAÉ et des exercices supplémentaires sur le système digestif. Un document reprend des questions sur limites et avantages du modèle.

C : Moi, ce que j'aimerais savoir, c'est si tu penses qu'ils ont vraiment réussi à faire le lien entre leur maquette, le schéma et la carte conceptuelle présentée dans le document de travail et qui peut être aussi considérée comme un modèle, d'ailleurs. Ce sont des modèles de la digestion aussi.

E : Non... Je pense qu'ils aient fait le lien... Mais, le but avant tout c'est la fabrication de l'objet techno.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [1 h 33 min]

Pourtant, un élément fort remarquable (car relié à la démarche de modélisation) apparaît dans l'action au temps [29 : 25]. L'échange est le suivant :

é : Hey, Monsieur, comment on fait pour le faire vomir si on n'a pas le droit de toucher aux choses de la bille? [0 h 29 min 25 s]

E : Tu as le droit d'y toucher, c'est juste que ça ici c'est la partie de départ : c'est la bouche.

é : C'est quoi à l'intérieur?

E : À l'intérieur, c'est une bille.

Extrait de verbatim : Observation n° 1-a – 2014-01-17 – [0 h 29 min]

Cet événement aurait pu servir de point de départ à une discussion sur les limites et les caractéristiques d'un modèle ou, à tout le moins, du modèle ainsi construit. Mais,

la réponse de l'enseignant ne prend pas en considération la notion de limite du modèle. Cette séance de construction technologique est par ailleurs abordée lors du deuxième groupe de discussion (FG2 -10-02-2014), avec des échanges sur le document que les élèves ont à leur disposition et qui propose la tâche 5 sur les forces et faiblesses/limites du modèle. L'enseignant concède que peu d'élèves complètent cette partie par eux-mêmes qui, selon lui, n'est pas fondamentale. Notons que cette tâche est indiquée dans la SAÉ comme étant une tâche complexe, faisant appel aux capacités d'analyse de l'élève.

E1 : Ça leur permet de comprendre le mouvement. Mais ils ne savent pas à quoi il est dû. Il n'y a pas les muscles tout le tour.
 C : Ah et est-ce que certains la mettent cette limite dans leur document? Est-ce qu'ils en parlent?
 E2 : Non, très rarement.
 E1 : Ben, certains la trouvaient, d'autres je les aidais très fortement... Mais sans insister trop. Ce n'est pas l'essentiel.
 C : Et là, est-ce que ça ne serait pas bien d'insister plus justement sur les limites de ce modèle? Et leur faire trouver quelque chose pour le mouvement des muscles, par exemple.
 E4 : ... améliorer le modèle en fait.
 E2 : Ça, ils trouvent. Moi je fais avancer une bulle d'air dans une balloune.
 C : Toi ou eux?
 E2 : Moi.
 E1 : Ils n'auraient pas idée de ce qu'ils font.
 E3 : Moi, je trouve ça trop difficile comme approche.
 E2 : Puis, ça ne sert à rien. Ils ne font pas le lien. Ils ont tendance à fermer les tiroirs très rapidement.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 2 - 2014-02-10 – [0 h 49 min]

L'accent est donc mis sur la réalisation de la maquette. Le questionnement sous-jacent au rôle, au statut des différents modèles ainsi qu'à la fonction de représentation de ces derniers est laissé au second plan. Les élèves s'engagent dans une activité peu problématisée. Cette activité est planifiée par l'enseignant et se cristallise dans le protocole très directif et détaillé qui est distribué aux élèves. Dans ce contexte, les élèves confrontés à un problème technologique de type casse-tête ont à suivre un plan

de manière rigoureuse. De plus, la pratique d'enseignement n'est pas conçue en vue de placer l'élève dans une situation lui permettant d'élaborer un savoir à propos des modèles et de la démarche de modélisation. C'est bien la construction technologique qui est mise en avant, et non le rôle cognitif que le modèle réalisé peut jouer comme intermédiaire concret pour représenter et comprendre une réalité abstraite et complexe.

5.1.2.1.3 Analyse des activités de modélisation selon leur enjeu

Nous allons à présent déterminer le niveau et l'enjeu de la modélisation du simulateur de péristaltisme, à l'aide du schéma de la modélisation élaboré dans la figure ci-dessous :

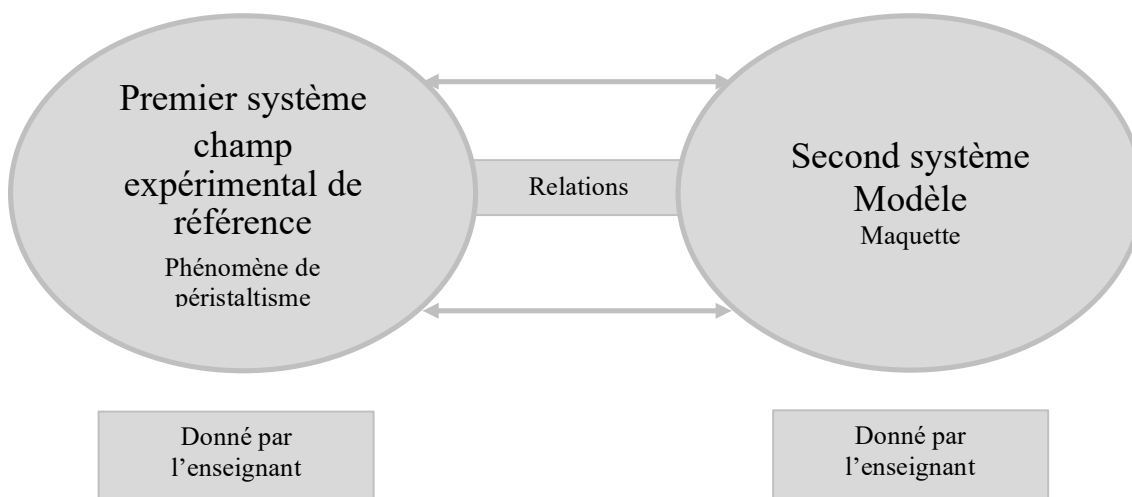


Figure 5.5 : Modèle de la modélisation – Observations du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme

Si l'on analyse l'activité comme une activité de construction technologique, celle-ci, nous l'avons vu, met en place un problème de type casse-tête peu pertinent pour l'apprentissage scolaire. Si l'on analyse maintenant cette activité comme une activité de modélisation, on a une activité qui offre un potentiel de niveau 2, avec un enjeu intéressant. En effet, la tâche 5 considère les limites du modèle (force et faiblesse), ce

qui devrait engager les élèves dans une réflexion sur les liens entre le champ expérimental de référence et le modèle. Or, cette réflexion est négligée : on se retrouve donc avec une séance avec un faible enjeu. Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de l'analyse de cette séance :

Tableau 5.8 : Récapitulatif des analyses – Observations du 2014-01-17 & 20 – Péristaltisme

Analyse génétique	Mésogenèse	Activité de construction technologique	– Problème de type casse-tête (El Fadil & Hasni, 2016; Jonassen, 1997).
		Activité de modélisation	– Pas d'objet de savoir à propos du péristaltisme dans la maquette
	Chronogenèse	– Succession de tâches et procédures – Besoin épistémique secondaire	
	Topogenèse	– Position topogénétique haute de l'enseignant	
Analyse fonctionnelle du jeu didactique		– Modèle et modélisation servent peu le jeu didactique.	
Modèle de la modélisation : – Niveau de modélisation : 2 – Intéressant → Faible		– 2 systèmes donnés dans l'énoncé du problème. – Pertinence du modèle envisagée (tâche 5). – Relations entre les deux systèmes.	

5.1.2.2 Laboratoire sur la formation des pluies acides

Le synopsis de l'action du laboratoire sur la formation des pluies acides est présenté en annexe (Annexes Q). Il nous permet de mettre en évidence les différentes modélisations cohérentes avec la définition que nous avons retenue pour le concept de modèle. Elles concernent des propositions avec des mots qui décrivent le phénomène, des schémas, des équations-bilans des réactions de transformations chimiques et un montage expérimental. Elles sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 5.9 : Activités à propos des modèles et de la démarche de modélisation – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides

MODÉLISATION ENVISAGÉE	MODÈLES UTILISÉS
Modélisation de l'énergie lumineuse	Graphisme : modèle du rayon lumineux
Modélisation de l'effet de serre	Récit : description du phénomène
	Graphisme : dessin du phénomène
Modélisation du processus de formation des pluies acides	Équation : réactions des transformations chimiques envisagées
	Récit : description du phénomène
Modélisation de l'acidification de l'eau par un polluant pour expliquer la formation des pluies acides	Récit : description du phénomène
	Montage expérimental : expérience réalisée au laboratoire
	Équation : réactions des transformations chimiques envisagées

Nous ne nous attarderons pas au modèle du rayon lumineux. L'étude de l'optique géométrique n'est pas la raison de la séance et l'enseignante l'utilise comme un objet permettant de représenter la propagation de la lumière lorsqu'elle esquisse au tableau son explication de l'effet de serre. Nous centrons plutôt notre attention sur les modèles qui fondent précisément l'objectif de cette séance relative à la formation des pluies acides. Au niveau du programme de formation, les transformations chimiques envisagées, relatives à la formation des pluies acides, concernent l'Univers matériel.

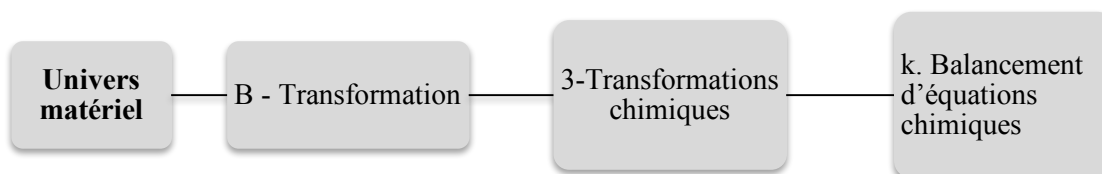


Figure 5.6 : Équations chimiques abordées dans le PFEQ

Au moment de cette observation, les élèves sont censés savoir équilibrer les équations de réactions et savoir reconnaître une transformation chimique. Lors de cette séance,

les transformations chimiques mises en jeu sont décrites selon différents registres (Laugier & Dumon, 2004a) :

1. Le registre d'une phénoménologie macroscopique observée : liée à des propriétés physiques telles que l'aspect ou la couleur. Ainsi, les élèves doivent noter un changement de couleur qui doit être interprété comme un changement de pH.
2. Le registre d'une phénoménologie microscopique : imaginée par un modèle de la matière permettant d'appréhender l'organisation de la matière.
3. Un registre symbolique qui permet de circuler entre les deux registres précédents : relié aux symboles, formules brutes des différentes molécules, équations de réaction (bilan de la réaction chimique); il met en jeu les concepts de moles, coefficients stœchiométriques (relation de proportionnalité entre les différentes espèces et conservation de la matière).

Or, selon plusieurs auteurs (Dumon & Laugier, 2004; Hesse & Anderson, 1992; Huddle & Pillay, 1996; Laugier & Dumon, 2004a, 2004b; Savoy & Steeples, 1994), il y a un écart entre le fait d'être capable d'équilibrer une équation de réaction (compétence essentiellement mathématique) et comprendre la signification de cette action dans le registre macroscopique. D'ailleurs, les élèves éprouvent généralement des difficultés à utiliser simultanément différents registres ou à passer d'un système de représentation à l'autre (Laugier & Dumon, 2004a; Malkoun, 2007) : « Ceux-ci, le plus souvent, ne reconnaissent pas le même objet à travers les représentations qui peuvent en être données dans des systèmes sémiotiques différents » (Duval, 1995, p. 5).

Puis, le canevas de l'action didactique (Annexe L) et le découpage de l'action en actes, en scènes et en épisodes donnent à voir la structure de l'action. Il facilite l'identification des éléments qui structurent l'action didactique, ce qui nous permet d'en faire l'analyse. Le canevas de l'action didactique (Annexe L) fait ressortir différentes modalités de travail (Van Der Maren, 1995). Une première lecture met en évidence une certaine interactivité entre les transactants ainsi qu'une assez bonne répartition entre les interventions de l'enseignante et celles des élèves. Si l'on regarde

les types d'interventions dont il s'agit, on constate notamment que l'enseignante questionne beaucoup les élèves, en veillant à ce que tous participent. Ces éléments sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 5.10 : Répertoire des pratiques de l'enseignant E3 – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides

CATÉGORIES	DÉFINITIONS	ACTION DE L'ENSEIGNANT
Gestion de classe	Interventions de l'enseignant relatives à la gestion de la classe	<ul style="list-style-type: none"> – Fait l'appel – Ramène le calme – Attire l'attention – Organise l'activité
Exposé magistral	L'enseignant s'adresse aux élèves qui écoutent afin de : <ul style="list-style-type: none"> – Introduire – Définir – Expliquer – Présenter un élément relié à la discipline et le sujet étudié	<ul style="list-style-type: none"> – Présente la manipulation et le matériel de laboratoire – Suggère les étapes du protocole – Explique les règles de sécurité
Activités interactives	Guidage : <ul style="list-style-type: none"> – L'enseignant répond aux questions des élèves – L'enseignant s'assure de la bonne compréhension des élèves en les questionnant 	<ul style="list-style-type: none"> – Répond aux questions des élèves sur les problèmes rencontrés lors de la manipulation – Questionne les élèves pour s'assurer de la bonne compréhension des consignes
	L'enseignant questionne les élèves	<ul style="list-style-type: none"> – Questionne les élèves sur les connaissances antérieures – Questionne les élèves sur la compréhension des objectifs de la manipulation – Questionne les élèves sur les réponses aux exercices

Le questionnement utilisé est de deux ordres. Il est utilisé comme guidage, pour s'assurer de la bonne compréhension des consignes, lorsque l'enseignante présente et expose les éléments théoriques, qu'elle explique les mises en situation ou encore les objectifs du laboratoire. Il sert aussi à vérifier les connaissances antérieures ou valider les réponses aux exercices lors de la correction de ces derniers.

L'activité des élèves consiste essentiellement à répondre aux questions – de manière brève, très souvent – à réaliser les manipulations de l'expérience en jeu ou encore à remplir le document qui l'accompagne. Ces éléments nous donnent une première idée de la topogenèse macroscopique qui montre un partage des responsabilités épistémiques à l'avantage de l'enseignante. Pour aller plus en profondeur, il y a lieu de questionner le canevas et le synopsis afin de saisir 1) l'objet de savoir en jeu et comment est-il mis en jeu : ce qui renvoie à la mésogenèse; 2) les moments déterminants de l'avancée du savoir et comment le savoir avance-t-il : ce qui renvoie à la chronogenèse et; 3) les responsables de l'avancée du savoir en jeu et comment cette responsabilité est-elle assumée : ce qui renvoie à la topogenèse.

5.1.2.2.1 Analyse génétique de l'action

La construction du milieu est abordée à l'aide de questions qui servent l'analyse mésogénétique et qui sont recensées dans le tableau suivant :

Tableau 5.11 : Mésogenèse – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides

QUESTIONNEMENT MÉSOGENÉTIQUE : QUOI/COMMENT QUOI		
Quel modèle est proposé et comment?	Qu'est-ce qui permet de justifier l'utilisation du modèle?	Qu'est-ce qui justifie l'évolution, le changement du modèle?
Modélisation du processus de formation des pluies acides à l'aide <ul style="list-style-type: none"> - Des réactions des transformations chimiques envisagées - D'un récit du phénomène 	<ul style="list-style-type: none"> - La réalisation d'une expérience qui veut reproduire le fonctionnement d'une centrale thermique, sur une présentation-exposition de la part de l'enseignante - Une présentation-exposition de la part de l'enseignante <p>E2 : « On va donc produire des pluies acides parce qu'on va faire brûler des combustibles qui vont dégager du SO₂ et en les mettant en contact avec la vapeur d'eau, on va voir qu'il y a formation d'eau acide. Donc on reproduit un peu une mini centrale thermique. » [0 h 21 min]</p>	<p>Le temps de l'horloge :</p> <p>E2 : « Je pense qu'on va arrêter ça là parce que je veux qu'on ait le temps de faire le laboratoire » [0 h 15 min]</p> <p>Sur une invitation de l'enseignante</p>
Processus d'acidification de l'eau <ul style="list-style-type: none"> - Récit. - Expérience de laboratoire. 		

Dans un premier temps, on constate que l'objet de savoir est mis en jeu par une exposition et non une problématisation, ou même un questionnement. Comment, dans ce contexte, la chronogenèse se construit-elle? La chronogenèse est ce qui permet d'envisager la genèse du temps didactique, en faisant ressortir les éléments mettant en évidence les passages successifs d'un milieu à l'autre. Le questionnement chronogénétique est structuré autour de questions qui envisagent « le quand et le comment quand », ce que reprend le tableau suivant :

Tableau 5.12 : Chronogenèse – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides

QUESTIONNEMENT CHRONOGÉNÉTIQUE : QUAND/COMMENT QUAND...			
Modèles envisagés	Quand l'introduction du modèle est-elle rendue nécessaire et comment ?	Quand le modèle envisagé ne paraît-il plus efficient et comment ?	Quand la nécessité de faire évoluer/d'abandonner le modèle, d'en construire un nouveau est-elle survenue et comment ?
Modélisation du processus de formation des pluies acides à l'aide - Des réactions des transformations chimiques envisagées - D'un récit du phénomène	Quand l'enseignante le décide en fonction des contraintes temporelles et de l'organisation de son enseignement Quand les élèves se lancent dans la manipulation à la demande de l'enseignante	Non envisagé	Non envisagé
Processus d'acidification de l'eau - Récit - Expérience de laboratoire		Non envisagé	Non envisagé

Pour l'essentiel, c'est l'organisation de l'enseignement, que l'on peut formuler en termes de contraintes organisationnelles et temporelles, qui impose l'introduction de chaque modèle. Dans le cas présent, cette responsabilité chronogénétique, qui correspond à l'avancée du savoir (Mercier, 2001), reste celle de l'enseignante et n'est pas partagée avec les élèves qui changent d'activités lorsque l'enseignante leur enjoint de le faire. « Le contenu des interventions est dominé par le savoir enseigné et

la méthodologie du travail scolaire » (Marcel, 2002, p. 109). Globalement, la méthode est assez dirigée (De Ketele et coll., 1988) et peu de latitude est laissée aux élèves qui suivent un protocole très précis décrivant le déroulement de la manipulation. Le matériel nécessaire est déjà monté sur les tables. L'enseignante parvient-elle à transmettre le modèle à la classe et à faire en sorte que ce dernier fonctionne sous sa responsabilité (Johsua & Dupin, 1993)? C'est ce que nous envisageons à partir de la topogenèse qui permet d'analyser la nature conjointe de l'activité didactique (Malkoun, 2007) et de comprendre comment se fait le partage de responsabilités épistémiques entre les transactants, mais aussi dans le milieu. On retrouve, dans le tableau suivant, le questionnement topogénétique qui est structuré autour de questions qui envisagent « le qui et le comment qui » :

Tableau 5.13 : Topogenèse – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides

QUESTIONNEMENT TOPOGÉNÉTIQUE : QUI/COMMENT QUI...				
Modèles envisagés	Qui a introduit le modèle et comment?	Qui a envisagé les limites du modèle utilisé et comment?	Qui a proposé un nouveau modèle et comment?	Qui s'engage sur la voie d'une démarche de modélisation et comment?
Modélisation du processus de formation des pluies acides à l'aide – Des réactions des transformations chimiques envisagées – D'un récit du phénomène	L'enseignante qui écrit les réactions des transformations chimiques et en les expliquant	Personne	Personne	Personne
Processus d'acidification de l'eau – Récit – Expérience de laboratoire	L'enseignante par un récit qui explique et expose le processus d'acidification de l'eau	Personne	Personne	Personne

On constate que l'enseignante occupe une position topogénétique haute en étant responsable de la plupart des transactions didactiques. La responsabilité de l'avancée du savoir est essentiellement celle de l'enseignante qui annonce les savoirs en jeu, puis explique, expose et impose le changement d'activité ou encore décrit. Par ailleurs, la dévolution et l'institutionnalisation sont aussi des concepts pertinents pour étudier la topogénèse et nous remarquons que l'enseignante transfère l'utilisation pratique du modèle à l'élève. Nous examinons ces concepts dans ce qui suit.

5.1.2.2.2 Analyse du jeu didactique

L'analyse de l'action didactique ordinaire à l'aide des catégories fonctionnelles de gestion du jeu didactique correspondant au quadruplet – définir, réguler, dévoluer, institutionnaliser (Sensevy et coll., 2000) – va maintenant nous permettre de voir comment le modèle intervient dans le déroulement du jeu didactique. Les questionnements favorisant cette analyse sont considérés par rapport à l'usage des modèles et démarches de modélisation et présentés dans le tableau suivant :

Tableau 5.14-a : Condition de dévolution – Observation 2014-01-31 – Pluies acides

Que fait l'enseignant pour engager l'élève dans le jeu d'apprentissage et pour qu'il prenne la responsabilité du travail?			
L'enseignant précise-t-il aux élèves qu'ils vont utiliser, manipuler, construire des modèles?			
E3 présente le laboratoire comme « quelque chose de concret et d'intéressant » sur la pollution atmosphérique qui permet d'aborder le processus de formation des pluies acides.	E3 explique que le laboratoire permet « de se mettre dans les conditions comme si on avait de petites minicentrales au charbon ».	E3 explique que l'expérience permet de produire des pluies acides, car les combustibles brûlés vont dégager du SO ₂ qui, mis en contact avec la vapeur d'eau, va acidifier celle-ci.	E3 précise que des minicentrales thermiques sont reproduites.
E3 ne précise pas <u>que c'est un modèle</u> . Mais, elle évoque la reproduction d'un phénomène.			
Utilisation – manipulation			

Tableau 5.14-b : Condition de définition – Observation 2014-01-31 – Pluies acides

Que fait l'enseignant pour s'assurer que l'élève sache à quel jeu il doit jouer et comment le il le fait?
L'enseignant explique-t-il aux élèves le rôle, le statut des modèles?
Non
E3 ne précise pas <u>ce qu'est</u> un modèle. Mais explique la reproduction d'une minicentrale thermique pour montrer comment se passe l'acidification de l'eau.

Tableau 5.14-c : Condition de régulation – Observation 2014-01-31 – Pluies acides

Que fait l'enseignant et ce qu'il met en place pour que l'élève produise une stratégie gagnante?
L'enseignant incite-t-il les élèves à « jouer » avec les modèles : laisse-t-il les élèves utiliser, manipuler, construire, inventer des modèles?
Non
E3 invite les élèves à effectuer la manipulation selon le protocole prescrit
Le modèle n'est ici perçu que comme un montage expérimental et les élèves exécutent des actions de manipulations décrites par la TTP Les élèves suivent le protocole détaillé action par action (Ex. mettre 3 gouttes d'indicateur coloré, pousser le piston, etc.)

Tableau 5.14-d : Condition d'institutionnalisation – Observation 2014-01-31 – Pluies acides

Que fait l'enseignant pour entériner une connaissance ou un comportement?
L'enseignant a-t-il recours aux modèles pour institutionnaliser le savoir envisagé?
Non
Les élèves écrivent leur conclusion par eux-mêmes. Elle porte essentiellement sur des observations qui sont des résultats d'activités de manipulation. (ex. : l'indicateur change de couleur).

On constate ainsi que l'enseignante ne fait pas appel aux principaux attributs du modèle (fonctions et caractéristiques) dans la construction du savoir. En présentant le montage, elle ne précise pas que c'est un modèle et donc encore moins ce qu'est un modèle. Par contre, elle explique que la manipulation consiste à reproduire une minicentrale thermique.

Puis, lorsque l'enseignante dévolue la responsabilité du modèle à l'élève, il ne s'agit que d'une responsabilité procédurale et pratique du modèle : l'élève manipule et

exécute les tâches demandées. Son activité se résume à des actions de manipulation (mettre trois gouttes d'indicateurs, pousser le piston, etc.) et à des observations découlant de ces actions (l'indicateur qui change de couleur).

L'enseignante n'amène donc pas les élèves à réfléchir sur les relations entre le modèle et le champ expérimental de référence. Dans ce contexte, nous pouvons nous questionner sur la gestion cognitive que l'élève fait de cette modélisation : est-il le simple exécutant d'une tâche manipulatoire ou entre-t-il dans un processus de construction de savoirs où le modèle est envisagé dans la gestion conceptuelle qu'il devrait favoriser?

Par ailleurs, en ce qui concerne l'institutionnalisation, sans réelle problématisation, la connaissance en jeu ainsi que le modèle ont acquis le statut de référence et ne sont pas questionnés. Dans ce contexte, où se situe l'institutionnalisation du savoir? Plusieurs indices permettent de répondre à cette question. Nous détaillons ci-dessous quelques exemples d'échanges qui nous permettent de faire des inductions.

C : Et là, il y a quoi dans le tube?

e1 : Ben quelque chose, là...

C : Mais, un peu plus précisément...

e2 : Du Z... ZnS

e1 : Ouais... c'est ça...

C : Mais encore...?

e2 : Mais ça marche pas... C'est-tu notre faute?? Ben là, faut juste enlever le bouchon. Ajouter 3 gouttes et observer la couleur du liquide... 1, 2, 3...

e1 : Bon, puis tremper la languette de papier et observer la couleur. Donc vert, on est à 6. On est correct. C'est ce qu'ils demandent. Bon dans le bocal la couleur c'est violet. Donc on allume.

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 47 min]

Dans cet extrait, les élèves restent centrés sur les faits et les savoirs procéduraux. Rien n'indique qu'ils interprètent leur manipulation comme une modélisation. Pour eux, le tube contient quelque chose qui s'appelle ZnS. Ils ne verbalisent pas le fait que ce que le tube contient est un réactif chimique représentant une source de

polluant capable de dégager du soufre qui est un élément chimique à l'origine des pluies acides. L'extrait qui suit montre que les élèves restent focalisés sur l'observation du changement de couleur.

e3 : La différence c'est-tu les différences entre les deux pH avant après?
 e4 : Ben oui. En fait non, je sais pas trop là...
 e3 : C'est quoi qu'il faut voir?
 e4 : Le changement de couleur [...]
 e6 : Ça marche pas. C'est resté vert, le papier. Non, c'est plus jaune. Ouais. Ça marche un peu...TTP : On voit le changement de couleur, alors imaginez ce qui peut être transféré dans l'atmosphère. [...] Ils aiment bien ça ces manipulations : ça fait des petites bulles, ça change de couleur. [...]
 E : Quand tout se passe comme il faut, vous allez voir rapidement l'effet du polluant sur la couleur de l'indicateur.
 e7 : C'est quoi qu'on fait là en fait?

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0h55 min]

Le changement de couleur est symptomatique de l'acidification de l'eau, donc d'une variation de pH. Or, même si ce concept est rendu familier par une utilisation domestique courante dans les produits domestiques et ménagers ou les publicités, il reste un concept difficile à appréhender puisque les propriétés acido-basiques des solutions sont dues à des propriétés microscopiques liées à la présence en plus ou moins grande quantité d'ions H_3O^+ et OH^- . Cette interprétation du changement de couleur reste alors difficile pour les élèves. S'ils sont capables de voir ce changement de couleur, on peut se demander s'ils peuvent facilement le lier à l'acidification de l'eau et s'ils peuvent relier cette acidification au dégagement de dioxyde de soufre, à partir du réactif ZnS mis au départ dans l'éprouvette. En effet, pour réussir ce raisonnement, les élèves doivent mettre en relation les trois registres suivants : 1) macroscopique observé (changement de couleur); 2) microscopique (lié à l'organisation de la matière et aux transformations chimiques intervenant dans l'expérience); et 3) symbolique, qui permet de naviguer entre les deux registres précédents (symboles moléculaires – équation de réaction – concepts de moles et

coefficients stœchiométriques). L'extrait suivant montre que certains élèves ne savent pas quoi conclure.

E : Maintenant, vous faites la synthèse et votre conclusion. Vous êtes capables de le faire tout seul. Ça prend 3 - 4 minutes.

e : Mais moi 3 minutes c'est trop court pour le faire. Et je sais pas quoi mettre.

E : On répond à notre question.

[Sonnerie – Fin de la séance]

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [1 h 08 min]

Les savoirs envisagés sont donc essentiellement procéduraux : ajouter des gouttes d'indicateurs, ouvrir le robinet, observer les bulles, le changement de couleur. Les élèves doivent aussi observer des éléments qui leur ont déjà été communiqués par la TTP et l'enseignante.

E : Quand tout se passe rapidement, vous allez voir rapidement l'effet du polluant sur la couleur de l'indicateur dans le bécher.

TTP : L'indicateur tournesol va nous servir pour voir le changement de pH. Il devient rouge en milieu acide.

[Lecture du protocole...]

E : Si on se met en situation. Notre polluant il est ici. On le fait chauffer parce qu'il va dégager du soufre. Ça va s'en aller dans la seringue ici. On va le laisser aller puis pousser sur la seringue pour l'envoyer dans l'eau. Et c'est l'eau qu'il faut regarder. C'est ça l'observation importante et prendre la mesure du pH. *O1.E3- 2014-01-31 – [0 h 34 min 31 s]*

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 34 min]

Sans vouloir se placer dans une logique de redécouverte scientifique, on peut supposer que les élèves sont à même d'observer un changement de couleur aussi radical (jaune/rose). Ce discours expositif du modèle (Johsua & Dupin, 1993) prive l'élève de tout processus de questionnement, de tâtonnement, d'émission d'hypothèses, d'interprétation et de dialogue qui pourrait justifier ce cheminement de la curiosité et de la découverte qui leur est retiré et l'on se retrouve finalement dans une méthode expositive et dogmatique (Gohau, 1987) : « Les élèves ne reconnaissent pas dans l'expérience qui leur est proposée un phénomène interrogeant leur curiosité »

(Robardet & Guillaud, 1997, p. 149), puisqu'ils sont avertis de ce qui va se passer et pourquoi. Ils doivent essentiellement se concentrer sur l'observation du changement de couleur de la solution, confirmé par la mesure du pH à l'aide du papier pH. Par ailleurs, « il n'y a pas d'activité de modélisation dans une classe sans, qu'à un moment ou à un autre, les élèves soient amenés à décrire » (Genzling & Pierrard, 1994, p. 48) des objets, des expériences, des phénomènes, des situations expérimentales explorées (*Ibid.*). Or, même ce travail de description est épargné à l'élève puisqu'il est réalisé par la TTP ou par l'enseignante.

Dans ce contexte, on peut se poser la question de la validité et de la pertinence d'une telle expérience dans la séance envisagée. Par ailleurs, aucun lien n'est fait entre le modèle de reproduction du phénomène des pluies acides concrétisé dans le laboratoire, le réel décrit lors de la première partie de la séance et la modélisation de ce qui se passe au niveau de la transformation de la matière abordée par l'enseignante à l'aide des équations de réaction et de leur description. Ces différents registres restent cloisonnés. L'expérience mise en place, même s'il elle est productrice de phénomènes, ne met pas en jeu de correspondances spécifiques avec les différents modèles et registres sémiotiques, ce qui permettrait d'avancer dans l'élaboration du savoir (Johsua & Dupin, 1993).

De plus, nous considérons que « l'institutionnalisation est le processus par lequel le professeur reconnaît publiquement et officiellement l'émergence de nouveaux éléments de savoir compatibles avec les savoirs conventionnels de la discipline » (Malkoun, 2007, p. 32). Différents indices permettent de cerner cette institutionnalisation comme des moments d'énonciation bien marqués, des épisodes de dictée d'une conclusion, une lecture explicitée de certaines notions, ou bien des indications claires relatives à des éléments nouveaux et à l'importance de tels éléments (Malkoun, 2007). Or, l'enseignante ne recourt pas aux modèles pour

institutionnaliser le savoir et les conditions de la dévolution ne s'organisent pas autour de ces derniers.

E : Que doit-on écrire dans une analyse? On exprime les données du tableau de résultats, mais en mots. On exprime cela dans une phrase. On répond à la question. Là, il faut prendre en considération avant et après parce qu'il y a une signification là. Au départ, on a une eau relativement neutre avec un pH précis que vous avez noté, ensuite on l'a mis en contact, il faut le dire là avec le gaz dégagé par la combustion du sulfure de zinc. L'eau est devenue avec quelle couleur et avec quel pH? Il faut écrire cela dans une phrase qui soit significative.

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [1 h 08 min]

Même si l'objectif principal n'est pas l'étude des transformations en tant que telle, les équations de réactions sont présentées par l'enseignante comme « allant de soi ». Et c'est bien la monstration (Johsua & Dupin, 1993) qui permet d'introduire ce savoir en considérant que ce dernier est connu ou du moins maîtrisé des élèves. Devant la difficulté et le nœud d'obstacle qu'il représente, nous pouvons questionner la banalisation d'un objet de savoir si complexe. Quels liens les élèves sont-ils capables de tisser entre ces équations de réaction et l'expérience qui suit? Certes, l'expérience, qui se veut une reproduction du phénomène, fonctionne telle une représentation que l'enseignante présente comme « quelque chose de concret ». Elle pourrait être utilisée comme un moyen d'interroger le réel, permettant aux élèves de comprendre le phénomène en ayant recours à la pensée analogique. En effet, « la pensée analogique est un exemple du fonctionnement de la compréhension puisqu'elle rend plus facile l'effort d'assimiler les éléments de l'explication scientifique aux notions familières » (Jimenez-Valladares & Perales-Palacios, 2002, p. 402). Cependant, peu de situations permettent aux élèves d'établir ces liens entre le réel et le modèle, et les différents modèles utilisés restent séparés, sans aucune confrontation scientifique : de tels « enseignements expérimentaux » apparaissent singulièrement corsetés et directifs (Johsua & Dupin, 1993, p. 217). Si ces enseignements mettent les élèves en action d'un point de vue procédural, ces derniers, n'ayant finalement aucun problème à

résoudre, restent peu impliqués dans l'activité (Genzling & Pierrard, 1994). Tous ces éléments traduisent donc un faible engagement sur le plan cognitif dans la construction des savoirs une telle implication où les élèves pourraient activer, sélectionner, organiser, intégrer, transférer et généraliser des connaissances reste limitée et le travail de conceptualisation que les modèles et les démarches de modélisation sont reconnus favoriser est malheureusement épargné à l'élève.

5.1.2.2.3 Enjeu des activités de modélisation

La détermination du niveau de la modélisation envisagée nous permet d'aller plus en profondeur pour comprendre quel est l'enjeu de la modélisation au sein de l'action didactique. Dans l'activité sur les pluies acides, le premier système se rapporte aux phénomènes industriels liés à l'acidification de l'eau de pluie. Le second système est celui du modèle et fait référence au montage expérimental. Le modèle de la modélisation (Amato-Imboden et coll., 2012; Dorier & Burgermeister, 2013) nous permet de construire la figure suivante :

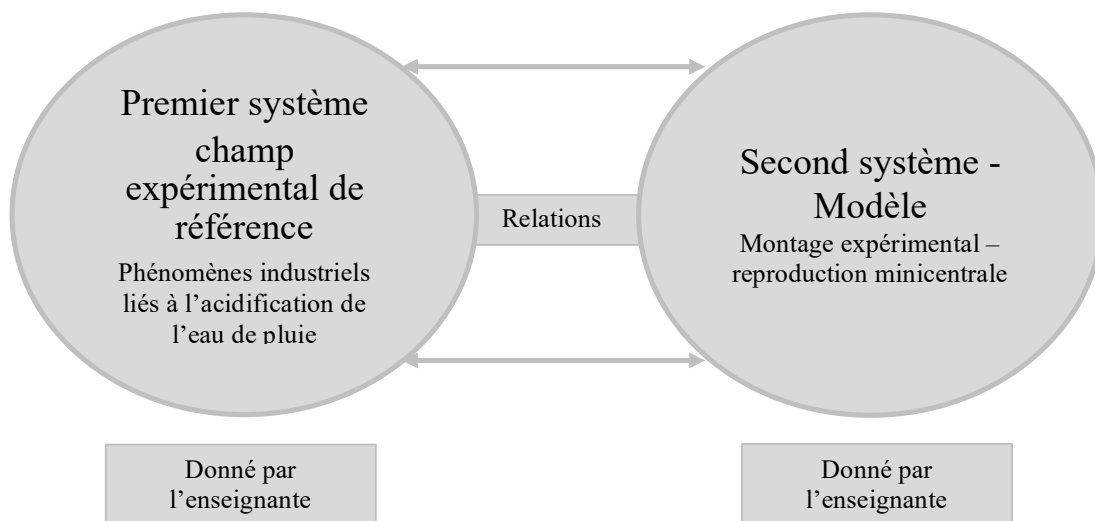


Figure 5.7 : Modèle de la modélisation – Obs. du 2014-01-31 – Pluies acides

Les deux systèmes sont donc donnés par l'enseignante par une exposition et un récit, comme nous l'avons vu précédemment. Ceci devrait offrir à cette situation un enjeu intéressant. Mais, le travail des élèves se produit uniquement dans le second système se concrétisant essentiellement dans des actions de manipulation. Les élèves envisagent donc peu ou pas de relations entre les deux systèmes alors qu'aucun retour n'a lieu vers le premier système. L'enjeu de modélisation est donc faible dans ce contexte, malgré un potentiel intéressant.

Le tableau suivant permet de récapituler les résultats des analyses précédentes. Il reprend les éléments liés 1) à la mésogenèse, la chronogenèse, la topogenèse, 2) à l'analyse de l'action didactique qui permet de constater que les modèles et la DM servent peu à la gestion du jeu didactique, puis 3) à l'enjeu de la modélisation.

Tableau 5.15 : Récapitulatif des analyses – Observation 2014-01-31 – Pluies acides

Analyse génétique	Mésogenèse	<ul style="list-style-type: none"> – Objet de savoir : un processus de formation des pluies acides. – Donné aux élèves. – Pas de problématisation.
	Chronogenèse	<ul style="list-style-type: none"> – Succession de tâches et procédures. – Besoin épistémique secondaire.
	Topogenèse	<ul style="list-style-type: none"> – Position topogénétique haute de l'enseignante.
Analyse fonctionnelle du jeu didactique		<ul style="list-style-type: none"> – Modèle et modélisation servent peu le jeu didactique.
Modèle de la modélisation : <ul style="list-style-type: none"> – Niveau de la modélisation envisagée : 1 – Enjeu : Faible 		<ul style="list-style-type: none"> – 2 systèmes évoqués dans l'énoncé de la situation. – Activité dans un seul des deux systèmes. – Pas de relation envisagée entre les deux systèmes.

5.1.2.3 Laboratoire sur les coacervats

Dans un premier temps, nous présentons dans le tableau suivant, les différentes activités de modélisation qui ressortent du synopsis (annexe R) de l'action de cette séance de laboratoire sur les coacervats.

Tableau 5.16 : Activités à propos des modèles et la démarche de modélisation – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats

MODÉLISATION ENVISAGÉE	MODÈLES UTILISÉS
Modélisation des conditions d'apparition de la vie sur Terre	Analogie : métaphore de la « soupe originelle » – l'atmosphère primitive
	Récit : lecture du manuel didactique (notion d'océan primitif, de soupe originelle, d'atmosphère primitive)
	Analogie : métaphore du mélange non miscible huile-eau - entités qui se referment et s'isolent du milieu
Modélisation d'une étape de l'apparition de la vie sur Terre à l'aide de l'expérience d'Oparin	Récit : explication du statut de l'expérience du phénomène
	Récit : lecture d'un extrait du manuel didactique
	Montage expérimental : expérience de laboratoire
Modélisation du processus de formation des molécules de base	Graphique : dessin de la manière dont les molécules ont pu se joindre entre elles
	Récit : lecture d'un extrait du manuel didactique
Modélisation des étapes de l'évolution biochimique de la matière	Équation mathématique
	Récit : explication des premières étapes de l'apparition de la vie sur Terre
Modélisation moléculaire	Graphique : dessin des sucres (molécules cycliques) – Modèle moléculaire
Modélisation cellulaire	Récit : explication de l'enseignante et description d'éléments caractérisant une cellule (milieu interne – paroi permettant des échanges avec l'extérieur) – Modèle de la cellule

L'objectif d'apprentissage dans cette séance concerne une explication possible d'une étape supposée dans la chaîne d'évènements qui a permis l'apparition de la vie sur Terre. On constate qu'elle offre de nombreuses possibilités de modélisation. Mais, nous allons centrer l'analyse sur l'objectif de cette séance : l'explication d'une étape

de l'apparition de la vie sur Terre à l'aide de l'expérience d'Oparin. L'ensemble de la séance offre néanmoins un contexte propice pour faire prendre conscience aux élèves des caractéristiques hypothétiques et modifiables des modèles. En ce qui concerne les fonctions, outre les fonctions représentation et explication, la fonction de rétrodiction est particulièrement présente puisque ce modèle tente d'expliquer et d'interpréter des événements passés. Dans un premier temps, nous présentons les différentes modalités de travail et les interventions de l'enseignant (Van Der Maren, 1995) que le canevas de l'action (annexe S) nous a permis d'identifier et de catégoriser et qui sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau 5.17 : Répertoire des pratiques – Enseignant E2- Obs. du 2014-01-31 – Coacervats

CATÉGORIES	DÉFINITION	ACTION DE L'ENSEIGNANT
Gestion de classe	Interventions de l'enseignant relatives à la gestion de la classe	<ul style="list-style-type: none"> - Fait l'appel - Ramène le calme – Attire l'attention en claquant des mains - Organise l'activité
Exposé magistral	L'enseignant s'adresse aux élèves qui écoutent afin de : <ul style="list-style-type: none"> - Introduire- Définir - Expliquer - Présenter des éléments reliés au sujet étudié	<ul style="list-style-type: none"> - Présente l'objectif de la séance : faire un modèle pour expliquer une étape de l'apparition de la vie sur Terre - Active les connaissances antérieures - Explique les règles de sécurité
Activités interactives	Guidage – l'enseignant <ul style="list-style-type: none"> - répond aux diverses questions - s'assure de la bonne compréhension des élèves en les questionnant - invite les élèves à lire à tour de rôle la page concernée dans leur manuel - marque des temps d'arrêt pour insister sur des éléments ou des moments importants - aide les élèves dans leurs observations 	<ul style="list-style-type: none"> - Répond aux questions sur les problèmes rencontrés lors de la manipulation - Questionne pour s'assurer de la bonne compréhension des consignes - Organise la lecture à tour de rôle - Revient sur certains éléments de la lecture pour les préciser, les expliciter, les écarter
	Questionne les élèves	<ul style="list-style-type: none"> - Sur les connaissances antérieures - Sur leur compréhension de ce qu'elle vient d'expliquer - Sur la compréhension des objectifs de la manipulation

On constate que les activités interactives sont fortement utilisées durant cette séance. Notons qu'il s'agit de la même enseignante que lors de l'observation du 31 janvier 2014 sur les pluies acides. Il semble donc normal que l'on retrouve les mêmes stratégies puisque « chaque enseignant développe un *habitus* qui lui est personnel, mais aussi qui relève en partie d'un *habitus* collectif, celui de sa profession ou métier, de son groupe social » (Lenoir, 2014, p. 12). L'enseignante utilise beaucoup de guidage avec les élèves en répondant à leurs questions sur d'éventuels problèmes techniques rencontrés en cours de manipulation, notamment pour le réglage du microscope. Elle questionne aussi les élèves pour vérifier les connaissances antérieures ou la bonne compréhension des consignes.

5.1.2.3.1 Analyse de la genèse de l'action didactique

Les différents aspects de l'analyse génétique vont nous permettre d'affiner notre compréhension de l'usage des modèles et démarches de modélisation qui peut être fait durant cette séance. Le questionnement mésogénétique va tout d'abord nous permettre d'envisager le rôle tenu par les modèles dans l'élaboration des savoirs.

Tableau 5.18 : Mésogenèse – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats

QUESTIONNEMENT MÉSOGENÉTIQUE : QUOI/COMMENT QUOI		
Quel modèle est proposé et comment?	Qu'est-ce qui permet de justifier l'utilisation du modèle?	Qu'est-ce qui justifie l'évolution, le changement du modèle?
Modélisation d'une étape de l'apparition de la vie sur Terre à l'aide de l'expérience d'Oparin : – Récit : explication du statut de l'expérience du phénomène – Récit : lecture d'un extrait du manuel didactique – Montage expérimental : expérience de laboratoire	– Une explication possible des origines abiotiques de la vie	Les modèles se suivent dans l'exposition qu'en fait E3

De ce premier niveau d'analyse, il ressort que les modèles ne sont pas envisagés comme une construction pouvant mener à une élaboration conceptuelle : leur description s'enchaîne au fil de la lecture de l'extrait du manuel didactique dans une pratique structurée par un savoir exposé et non problématisé.

Tableau 5.19 : Chronogenèse – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats

QUESTIONNEMENT CHRONOGENÉTIQUE : QUAND/COMMENT QUAND...			
Modèles envisagés	Quand l'introduction du modèle est-elle rendue nécessaire et comment?	Quand le modèle envisagé ne paraît-il plus efficient et comment?	Quand la nécessité de faire évoluer/d'abandonner le modèle, d'en construire un nouveau est-elle survenue et comment?
Modélisation d'une étape de l'apparition de la vie sur Terre à l'aide de l'expérience d'Oparin : – Récit : explication du statut de l'expérience du phénomène – Récit : lecture d'un extrait du manuel didactique – Montage expérimental : expérience de laboratoire	E invite les élèves à réaliser l'expérience lorsque la partie théorique est terminée.	Non envisagé	Non envisagé

La chronogenèse de l'action montre que c'est l'enseignante qui dicte les conditions de changements d'activités et non la construction du savoir. Elle renonce ainsi à la dévolution chronogénétique (Weisser, 2007). L'exposition de la théorie « selon laquelle la vie serait le résultat d'une évolution biochimique de la matière » permet de justifier la présentation de l'expérience prototypique qui modélise une étape de ce qui a pu conduire à l'apparition de la vie sur Terre.

Tableau 5.20 : Topogenèse – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats

QUESTIONNEMENT TOPOGÉNÉTIQUE : QUI/COMMENT QUI...				
Modèles envisagés	Qui a introduit le modèle et comment?	Qui a envisagé les limites du modèle utilisé et comment?	Qui a proposé un nouveau modèle et comment?	Qui s'engage sur la voie d'une démarche de modélisation et comment?
Modélisation d'une étape de l'apparition de la vie sur Terre à l'aide de l'expérience d'Oparin : – Récit : explication du statut de l'expérience du phénomène – Récit : lecture d'un extrait du manuel didactique – Montage expérimental : expérience de laboratoire	– E présente l'enjeu de la séance : « Aujourd'hui on va faire un modèle de quelque chose pour expliquer une étape de l'apparition de la vie sur Terre ». – Exposition	Personne E précise que le modèle présenté est « admis scientifiquement », mais qu'il ne peut expliquer l'apparition des premières cellules et de la vie.	L'enseignante par la lecture de l'ouvrage didactique	Personne

L'enseignante est la principale responsable de la topogenèse qui reste peu partagée avec les élèves. Elle occupe donc une position topogénétique haute. L'enseignante et l'ouvrage didactique, lu par un élève, présentent tour à tour une succession de modèles permettant d'expliquer les étapes de la vie sur Terre, sans que ceux-ci soient abordés comme des modèles, mais plutôt comme des informations : « les savoirs, au cours de cette séquence, sont donc plutôt des savoirs clos sur eux-mêmes et appréhendés avec une vision cumulative » (Pautal, 2012, p. 139). Les limites de l'expérience d'Oparin sont cependant proposées par l'enseignante, mais elles ne conduisent pas à envisager d'autres modèles :

E : Aujourd'hui, on vous propose un modèle qui est comme admis scientifiquement comme de quoi les êtres, les molécules en fait, seraient devenues de plus en plus organisées. Jusqu'à reproduire un niveau d'organisation assez élevé pour dire qu'à partir de ça il y aurait pu avoir apparition de la vie, de premières cellules. Mais, même en labo, avec les connaissances actuelles, on n'est pas capable de produire en laboratoire la cellule, autrement dit la vie, à partir de ce qu'on va faire aujourd'hui. On suppose que la vie est partie de là. Donc c'est vraiment de dire, on pense qu'il y a un modèle, mais il y a un saut qu'on n'est pas capable de faire.

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 05 min]

L'analyse réalisée à l'aide des catégories génétiques nous montre que le savoir mis en jeu dans cette séance est exposé et qu'il ne fait pas l'objet d'une problématisation. On épargne ainsi aux élèves toute construction intellectuelle et les élèves semblent ne pas voir ce que E3 énonce et qui en soi, n'est pas évident. En effet, lors de la manipulation, l'observation est difficile et la représentation du résultat observé par l'intermédiaire du microscope est loin d'être éloquente. Pour reprendre les propos de Pautal (2012), « il s'agit ici de regarder un objet et d'extrapoler à partir d'un discours délivré par [E3] depuis une position topogénétique haute » (Pautal, p. 138).

Dans ce contexte, la pertinence du modèle est sujette à interrogation. Il semble que l'enseignante ait choisi cette expérience pour expliquer une étape possible de l'apparition de la vie sur Terre. Or, en quoi ce que les élèves observent tant bien que mal au microscope favorise cette explication? Le fait que cette expérience puisse être considérée comme une modélisation permettant d'expliquer l'organisation primitive des molécules n'est d'ailleurs pas évoqué, mis à part dans une phrase de présentation en début d'expérimentation. Pourtant, l'image en science revêt différentes fonctions (Usé, 2002). Par l'intermédiaire du microscope, il s'agit ici de montrer l'invisible. Si elle est effectivement une aide à la visualisation, elle reste une image qui ne fait « que » représenter l'univers invisible (Ternay & Menillet, 2001) : « elle "figurabilise" des entités abstraites, en leur ajoutant une dimension matérielle » (Cambrosio, 2013). Certes, « l'image ne ment pas, mais le lecteur est plus ou moins

bien armé pour la lire » (Usé, 2002, p. 4). Et, effectivement, beaucoup d'élèves ne savent pas quoi observer, puis dessiner :

Remarques d'élèves :

« On n'observe pas grand-chose » [0 h 44 min]

« Je ne vois pas grand-chose » [0 h 45 min]

« Je ne sais pas si c'est ça qu'on est censé voir » [0 h 46 min]

« Qu'est-ce que je dois dessiner? » [0 h 57 min]

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31

Selon Cambrosio (2013), « les images parlent rarement d'elles-mêmes. Quand on sait à quoi ressemble ce qu'on cherche, c'est simple. Mais quand on ne sait pas, on ne discerne rien ».

Remarques d'élèves :

« On observe des petits points noirs »

« On voit qu'il y a des bulles d'air »

« On voit comme des petites graines » [0 h 46 min 30 s]

E3 : Ce que vous devez voir au microscope? Vous devez mettre en évidence des molécules regroupées, avec comme une membrane. [0 h 45 min 32 s]

Autour de chaque petite sphère, il est censé y avoir un contour plus foncé.

C'est ça vos microsphères. [0 h 46 min 35 s]

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31

Ce qui paraît évident pour l'enseignante est loin de l'être pour les élèves. L'image obtenue par l'intermédiaire de cet instrument optique qu'est le microscope est un modèle qui possède une fonction représentative et correspond à un réel transposé. Cette séance proposée aux élèves s'avère donc particulièrement complexe puisqu'elle offre plusieurs modélisations imbriquées. Tout d'abord, la modélisation par une expérience d'une étape permettant d'expliquer l'apparition de la vie sur Terre, puis l'interprétation d'une représentation donnée par une image obtenue par un microscope optique du résultat de l'expérience précédente. Or, les images en sciences ont tendance à présenter un statut de réalité : « l'image scientifique repose sur un malentendu, car elle postule l'analogie avec la réalité alors qu'elle interprète le réel »

(Usé, 2002, p. 5). En ce sens, la façon dont l'enseignante introduit les différentes notions est fondamentale. Coulin-Talabot et Zahnd (2012) prennent en exemple des élèves qui regardent au microscope des cellules d'oignon :

S'ils n'ont pas de modèle, de représentation cellulaire, et qu'on leur demande de dessiner ce qu'ils voient, la plupart du temps, ils dessinent des bulles d'air ou des formes, mais pas des cellules. Dès le moment où ils savent que les cellules ont telle ou telle forme et qu'elles ont un noyau, une membrane, etc., ils vont pouvoir rechercher dans la préparation ce qui va correspondre au modèle théorique qu'ils connaissent. (p. 37)

Dans cette logique, l'enseignante explique aux élèves ce qu'ils doivent observer, mais il semble que les intentions des élèves et de l'enseignante ainsi que la compréhension qu'ils ont du milieu ne soient pas les mêmes. Les élèves restent cantonnés à l'observation alors que l'enseignante se place dans le registre de l'explication et de l'interprétation (voir extrait de verbatim précédent). Les élèves ne peuvent qu'accepter l'interprétation du milieu que leur donne l'enseignante, sans pouvoir agir sur et avec celui-ci.

5.1.2.3.2 Analyse du jeu didactique

Plusieurs modèles et modélisations sont donc présents dans cette séance. Le tableau ci-dessous nous permet d'envisager la manière dont ces modèles interviennent dans la gestion de l'action didactique.

Tableau 5.21-a : Condition de dévolution – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats

Que fait l'enseignant pour engager l'élève dans le jeu d'apprentissage et pour qu'il prenne la responsabilité du travail?		
L'enseignant précise-t-il aux élèves qu'ils vont utiliser, manipuler, construire des modèles?		
E présente l'enjeu de la séance : « Aujourd'hui on va faire un modèle de quelque chose pour expliquer une étape de l'apparition de la vie sur Terre ».	E précise que le modèle présenté est « admis scientifiquement », mais qu'il ne peut expliquer l'apparition des premières cellules et de la vie : « il y a un saut que l'on n'est pas capable de faire ».	E explique aux élèves qu'ils vont refaire un modèle.
E ne précise pas <u>que c'est un modèle</u> .		
Explication – Utilisation - manipulation		

Tableau 5.21-b : Condition de définition – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats

Que fait l'enseignant pour s'assurer que l'élève sache à quel jeu il doit jouer et comment le il le fait?	
L'enseignant explique-t-il aux élèves le rôle, le statut des modèles?	
<p>Les termes utilisés laissent entendre de manière plus ou moins explicite le rôle et le statut des modèles :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Un modèle de quelque chose pour expliquer une étape de l'apparition de la vie sur Terre. – Tout ce qu'on veut vous démontrer, c'est qu'on suppose que ce qu'on est capable de faire, on suppose que la vie est partie de là. – Donc, on va expliquer ce qu'on veut représenter par ce laboratoire. – Chaque dessin représente quelque chose. 	
E3 ne précise pas <u>ce qu'est un modèle</u> .	
Représentation – explication	

Tableau 5.21-c : Condition de régulation – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats

Que fait l'enseignant et ce qu'il met en place pour que l'élève produise une stratégie gagnante?	
L'enseignant incite-t-il les élèves à « jouer » avec les modèles : laisse-t-il les élèves utiliser, manipuler, construire, inventer des modèles?	
Non	
<p>Les élèves suivent le protocole déjà construit et détaillé et exécutent la manipulation requise à l'aide du montage déjà réalisé par la TTP.</p> <p>Les élèves réalisent les manipulations demandées et font un dessin de ce qu'ils observent à travers le microscope.</p>	

Tableau 5.21-d : Condition d'institutionnalisation – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats

Que fait l'enseignant pour entériner une connaissance ou un comportement?
L'enseignant a-t-il recours aux modèles pour institutionnaliser le savoir envisagé?
Non
Les élèves écrivent leur conclusion par eux-mêmes. Elle porte essentiellement sur les observations à travers le microscope

Les fonctions de représentation et d'explication du modèle sont donc envisagées. L'enseignante exprime ces fonctions à plusieurs reprises, notamment pour expliquer différents aspects de l'apparition de la vie sur Terre. Mais, ces fonctions semblent aller de soi et leur signification par rapport au statut du modèle n'est pas précisée.

Donc, on va expliquer ce qu'on veut **représenter** par ce laboratoire. *O2.E3-2014-01-31 – [0 h 5 min 35 s]*

[...]

Ça **représente** toujours des sucres. Chaque dessin **représente** quelque chose.

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 14 min]

Par ailleurs, lors de la présentation du contenu de la séance, l'enseignante évoque l'aspect hypothétique du modèle en utilisant le verbe « supposer » :

Tout ce qu'on veut vous démontrer, c'est qu'on suppose que ce qu'on est capable de faire, on **suppose** que la vie est partie de là.

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 05 min]

Il aurait été intéressant de vraiment expliciter ces fonctions en envisageant les relations entre les différents systèmes concernés que nous allons aborder dans le paragraphe suivant. Pourtant, dans son vocabulaire, l'enseignante utilise plusieurs termes renvoyant aux principaux attributs d'un modèle. Ainsi, en introduction, elle précise aux élèves ce qu'ils vont réaliser.

De façon générale, le protocole présenté est précis et le matériel nécessaire à la manipulation déjà prêt à l'emploi sur les tables. Ceci oriente le travail vers un produit

très dirigé et peu réflexif selon une méthode qui, bien que centrée sur une expérience et une manipulation, se retrouve être directive (De Ketele et coll., 1988). Les élèves mélangent des solutions et observent le résultat au microscope. Pour reprendre les propos de Pautal (2012) : « l'absence de problématisation au sens d'Orange (2003) rend stérile cette observation » (p. 143).

Un modèle de quelque chose pour **expliquer** une étape de l'apparition de la vie sur Terre.
Donc aujourd'hui, c'est comme une démonstration de cette étape-là que l'on va faire. Puis, jusqu'à cette étape-là, c'est admis, c'est après qu'on a de la misère à savoir ce qui s'est passé. Mais ce modèle-là **tend à croire** que ça a pu arriver comme cela et que ça a mené vers l'apparition des premières cellules.

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 22 min]

Quel est alors l'engagement cognitif des élèves lors d'une telle activité? L'enseignante et le manuel scolaire sont les détenteurs d'un savoir scientifique qui est transmis aux élèves selon diverses modalités que nous avons déjà évoquées : explications de l'enseignante et lecture de textes explicatifs dans l'ouvrage didactique. Un modèle scientifique qui doit plus être appris que compris est présenté aux élèves et ceux-ci ont à mémoriser les savoirs exposés. L'expérience qui leur est proposée est prototypique et ne vise pas à « exposer le modèle et faire admettre sa plausibilité au regard du phénomène étudié » (P. Roy & Hasni, 2014, p. 354). Cependant, dans un tel cas de modélisation inductiviste :

[l]e rôle de l'enseignant est de présenter un problème de départ, d'introduire les faits scientifiques et de proposer aux élèves une expérience dont le protocole est déjà conçu afin qu'ils puissent vérifier la correspondance du modèle à l'étude avec les données obtenues par l'expérience. (*Ibid.*)

Or, l'occasion n'est pas saisie pour étudier et expliquer les fonctions et caractéristiques du modèle utilisé. Comme suite à l'extrait ci-dessous, une réflexion sur le

statut modélisateur et notamment hypothétique de cette expérience aurait pu suivre, mais n'est pas développée.

E4 : Comme ces coacervats présentent certaines caractéristiques des futures cellules vivantes, on pense qu'ils sont une étape essentielle dans la théorie évolutionniste et la compréhension de l'apparition de la vie sur la Terre.

Extrait de verbatim : Observation n° 2 – 2014-01-31 – [0 h 08 min]

Les modèles comme construits de l'esprit (Barry, 2010) et instruments de pensée ayant « une visée descriptive, explicative et prédictive des phénomènes complexes » (Lebeaume, 2010, p. 30) ne sont pas abordés lors de cette séance.

5.1.2.3.3 Analyse des activités de modélisation selon leur enjeu

Il est difficile d'identifier quelle phénoménologie macroscopique est mise à la disposition des élèves qui pourrait leur servir d'ancrage afin d'utiliser le modèle comme médiateur entre le concret et l'abstrait. Ce flou et cette incertitude sont-ils la conséquence de l'absence de problématisation? Quels sont exactement les différents systèmes en jeu dans cette séance? L'enseignante introduit l'idée des premières structures abiotiques qu'elle décrit comme des sortes de cellules où une paroi isole un milieu intérieur d'un milieu extérieur. L'objectif de ce laboratoire est d'en expliquer l'origine. Les élèves sont censés connaître cette caractéristique des cellules. Même si les cellules sont des entités abstraites, on pourrait considérer qu'elles sont rendues concrètes par l'usage puisque, les élèves les ont déjà étudiées. Pour reprendre les propos de Langevin :

Le concret, c'est de l'abstrait rendu familier par l'usage. [...] Nous voyons, dans notre expérience récente, des notions très abstraites et difficilement assimilables au début, se colorer de concret à mesure que se formait l'habitude, qu'elles s'enrichissaient de souvenirs et d'associations d'idées (Langevin, 1933, p. 45).

Toutefois, aucun retour n'est fait vers ce système comme suite à l'expérimentation au cours de laquelle les élèves préparent une solution qu'ils vont devoir observer au

microscope, avant, puis après avoir ajouté de l'acide chlorhydrique. Ils ont donc à comparer un avant et un après.

Le premier système correspond plutôt à une phénoménologie microscopique observée à travers le microscope. Le second registre, celui du modèle, est un registre symbolique où les élèves doivent représenter ce qu'ils regardent à travers le microscope en « voyant » de petites bulles noires qu'ils doivent interpréter comme des structures qui se sont refermées sur elles-mêmes. C'est entre ces deux systèmes que les élèves naviguent avec difficultés. Ces considérations nous conduisent à proposer le modèle de la modélisation de la figure ci-dessous :

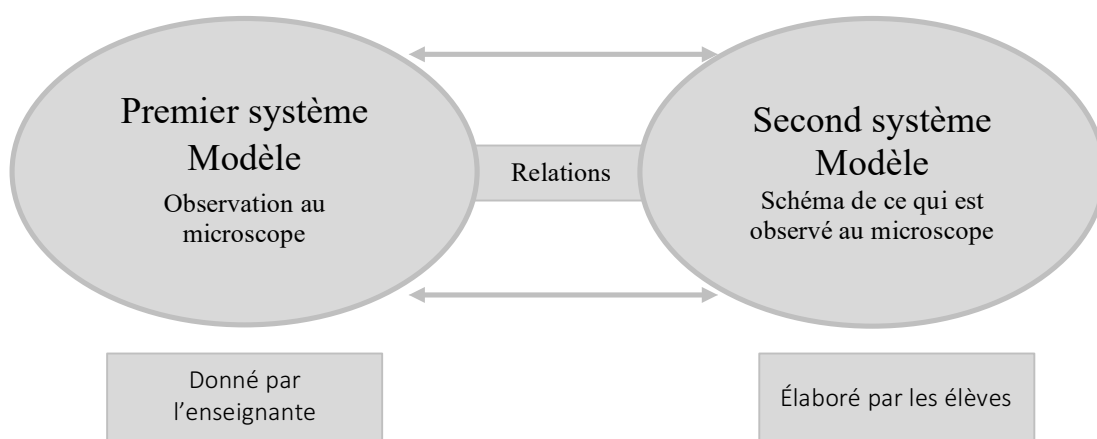


Figure 5.8 : Modèle de la modélisation – Obs. du 2014-01-31 – Coacervats

Le premier système est donc donné par l'enseignante qui dicte aux élèves ce qu'ils doivent observer dans la mise en situation. Le second système devrait être élaboré par les élèves, mais ces derniers ne sont pas convaincus et ne savent pas quoi observer. Cette séance devrait donc présenter un enjeu élevé, puisqu'un seul système est donné et que l'élaboration du second système est à la charge des élèves. Mais, devant l'absence de problématisation et la difficulté de l'observation au microscope qui ne convainc pas les élèves, on se retrouve avec un enjeu faible où aucune relation n'est

envisagée entre les deux systèmes. Le tableau ci-après récapitule les résultats des analyses de cette séance d'observation sur les coacervats :

Tableau 5.22 : Récapitulatif des analyses – Observation 2014-01-31 – Coacervats

Analyse génétique	Mésogenèse	<ul style="list-style-type: none"> – Objet de savoir : étape possible de l'apparition de la vie sur Terre – Donné aux élèves – Pas de problématisation
	Chronogenèse	<ul style="list-style-type: none"> – Succession de tâches et procédures – Besoin épistémique secondaire
	Topogenèse	<ul style="list-style-type: none"> – Position topogénétique haute de l'enseignante
Analyse fonctionnelle du jeu didactique		<ul style="list-style-type: none"> – Modèle et modélisation servent peu le jeu didactique
Modèle de la modélisation : <ul style="list-style-type: none"> – Niveau de la modélisation envisagée : 1 – Enjeu : Faible 		<ul style="list-style-type: none"> – 2 systèmes évoqués dans l'énoncé de la situation – Activité dans un seul des deux systèmes. – Pas de relation envisagée entre les deux systèmes

Dans les trois observations analysées, il semble que le manque de problématisation fait en sorte que la genèse de l'action prend peu d'ampleur : pour que l'élève se pose une question, encore faudrait-il qu'il y ait un problème, une situation intrigante. Or, on constate qu'il y en a peu dans les séances rencontrées. Le travail et l'enjeu épistémique présentent alors une faible densité. Chaque cas montre un enjeu de lecture différent du côté de l'enseignant concerné et du côté des élèves. Le jeu didactique est joué par chacun de manière indépendante dans un milieu qui n'est pas partagé par les acteurs dans ce qui devrait aboutir à une coconstruction. Dans ce contexte, les modèles utilisés sont montrés ou décrits sans aucune investigation possible.

Par ailleurs, la présence importante de récits effectués par l'enseignante ou « racontés » par le manuel didactique dans les modélisations envisagées montre une chronogenèse envisagée davantage comme une narration (Orange-Ravachol, 2007)

que comme une élaboration basée sur la construction des savoirs. Nous allons maintenant aborder l'analyse des ajustements de pratique envisagés avec les enseignants.

5.2 Analyse des ajustements de pratique faisant appel à des approches utilisant les modèles et la démarche de modélisation afin de faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait

Rappelons tout d'abord les visées éducatives de l'enseignement de S&T que nous avons élaborées au chapitre 2. Elles se retrouvent dans le tableau suivant :

Tableau 5.23 : Visées éducatives de l'enseignement de sciences et de technologies

VISÉES ÉDUCATIVES DE L'ENSEIGNEMENT DE SCIENCES ET DE TECHNOLOGIES
<p>Acquérir des savoirs – concepts, les lois, théories – changement conceptuel (Giordan & De Vecchi, 1987; Morge & Boilevin, 2007; Vosniadou & Brewer, 1994).</p> <p>S'approprier méthodes et démarches – compréhension du fonctionnement de l'activité scientifique (Dahmani & Schneeberger, 2011).</p> <p>Développer des langages propres aux sciences et aux technologies (Bisaut, 2005; Jaubert & Rebière, 2000; Lhoste et coll., 2011).</p> <p>Développer une culture de base de façon à prendre des décisions éclairées dans une société en perpétuel mouvement (Morge & Boilevin, 2007).</p>

Nous allons dans ce qui suit envisager les ajustements de pratique évoqués par les enseignants lors des groupes focalisés au regard de ces visées éducatives en accord avec les prescriptions du PFEQ (2007). Notons que ces ajustements restent de l'ordre des intentions. La plupart ont été provoqués par les réflexions collectives engendrées lors des discussions autour des modèles et démarches de modélisation pendant les groupes focalisés. Les principaux éléments de réflexion ont été la lecture de la démarche de modélisation telle qu'elle est donnée dans le PFEQ (2007), ainsi que les activités organisées lors du deuxième groupe focalisé et qui faisaient intervenir divers modèles dont le statut était discuté selon les fonctions des modèles – hypothétiques,

modifiables et contextuels (Martinand, 2010b) et leurs caractéristiques – représenter, expliquer, prédire (Amato-Imboden et coll., 2012).

5.2.1 Ajustements dans le discours des enseignants

Un des ajustements marquants dans le discours des enseignants est la prise de conscience des caractéristiques du modèle et de la démarche de modélisation. Lors de la première rencontre, les priorités des enseignants ont été abordées concernant leur enseignement de S&T. En quatrième secondaire, les examens du Ministère sont vraiment la préoccupation essentielle :

E1 : Pour avoir enseigné au secondaire 3 pendant 4 ans, la priorité était que l'élève comprenne ce qu'on enseigne. Mais, en secondaire 4, la priorité c'est de voir tout le programme au complet pour s'assurer qu'ils soient prêts à l'examen de fin d'année. Donc la priorité c'est de les préparer à l'examen du ministère.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 40 min]

Les démarches en général et la démarche de modélisation en particulier sont négligées :

E1 : Parfois donc, on coupe dans certaines choses comme les laboratoires ou le côté démarche, la modélisation par exemple, ça prend le bord! Les modèles, on n'en fait pas, on n'a pas le temps!

E2 : La priorité c'est sûr, c'est l'apprentissage des jeunes, c'est-à-dire que faut qu'il y a un certain nombre de notions qu'ils doivent savoir. On essaie souvent de cibler ces aspects-là. Mais moi, j'ai une autre préoccupation, c'est d'assurer un suivi des connaissances du 1 jusqu'au 4.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 43 min]

Par ailleurs, la notion de modèle et de démarche de modélisation n'est pas claire pour tous les enseignants.

E3 : La modélisation, la modélisation... pourrait-on plus parler d'exemple? Mettons que l'on parle de changement physique, chimique, tiens. Un exemple, ça peut aussi être de donner des exemples concrets? Est-ce que ça peut être cela, la modélisation? Par exemple les feuilles en automne qui rougissent.

Quand on parle de changement chimique, avec les indices, qu'on leur montre des choses qui se passent dans l'actualité ou dans le quotidien. Est-ce que ça peut être considéré comme une modélisation?

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 52 min]

L'extrait suivant permet d'entrevoir la vision que les enseignants ont des modèles de la science :

E1 : Moi je sais que quand je leur enseigne qu'un modèle, ça permet d'expliquer quelque chose que tu ne peux pas voir, moi je leur dis en science, quelque chose est vrai jusqu'à preuve du contraire. Donc ce modèle-là il a été accepté jusqu'à ce que celui-là, jusqu'à celui-là, etc.

FG1-2013-10-23 [0 h 57 min 35 s]

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 57 min]

Il est intéressant de constater, dans cet extrait, le positionnement épistémologique de l'enseignante qui met en avant la valeur de la science et son indispensable critique. Elle se positionne selon la logique de Popper (2006, 2007) pour qui la science n'a qu'un statut temporaire. De plus, selon un principe de réfutation ou de falsification, il n'est plus question de vérifier des énoncés, mais de tester la théorie. Dans l'extrait suivant, au contraire, c'est bien la notion de preuves qui ressort dans une optique plus positiviste :

E3 : Les affaires qu'on leur montre ça a été prouvé par des données expérimentales. C'est des données expérimentales sur les comportements de la matière pour élaborer des choses, des théories, ça ne veut pas dire que c'est vrai à 100 %. Mais en science, on n'admet pas quelque chose tant qu'on n'a pas une preuve qui vient appuyer ce que l'on dit.

FG1-2013-10-23 [1 h 6 min 45 s]

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 06 min]

Or, comme nous l'avons évoqué dans le chapitre 2, les actions de l'enseignant qui teintent les pratiques d'enseignement dépendent de son positionnement épistémologique et de sa culture au regard des S&T. Or, dans cette vision plutôt positiviste de l'activité scientifique qui émane de l'extrait précédent, les fonctions de prédiction et d'explication du modèle sont négligées puisque ce dernier est souvent

présenté comme une vérité non discutable (Riopel, 2005). C'est ainsi que les modèles de l'atome étaient proposés par plusieurs enseignants comme des vérités en soi, au lieu d'être abordés comme des connaissances provisoires. Ceci engendrait certaines incompréhensions dans l'esprit des élèves.

E4 : Ils prenaient tellement cela au sérieux! Moi je ne leur donnais pas le dernier modèle. Je commençais au début sans leur dire qu'on allait arriver là. Quand j'arrivais pour changer et passer à un nouveau modèle, ils étaient presque fâchés après moi! Comme si je me contredisais ou que je leur racontais des niaiseries!

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 59 min]

Il est intéressant de constater la tension résultante qui rejaillit dans la pratique d'enseignement. L'enseignante, en prenant conscience de cette rupture, a ajusté sa pratique en conséquence :

E4 : Maintenant, je vais leur montrer d'où on part et où on arrive, leur dire notre dernier modèle il va être comme cela. Donc on va pouvoir le faire évoluer et comprendre pourquoi.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 59 min]

À travers ce discours, on entrevoit que c'est bien le statut du modèle qui a changé : au lieu d'être un objet statique et immuable, il devient modifiable et évolutif. Par ailleurs, il est raisonnable de supposer que le fait de « comprendre pourquoi » permet d'en envisager les limites et de s'attarder sur son statut hypothétique et contextuel.

La lecture de la définition de la démarche de modélisation issue du programme de formation est venue préciser certains éléments, comme on le constate dans l'extrait ci-après :

E4 : Moi, il y a plein de choses que je vois là-dedans et que l'on fait déjà, comme quand tu parles des atomes et des molécules, tu arrives avec tes boules. C'en est, ça, un modèle. C'est un objet qui va expliquer une réalité invisible. C'est invisible les atomes, mais quand tu mets des boules comme cela, l'élève dit « OK, c'est un hydrogène avec un oxygène qui réagissent ensemble ».

E2 : On en fait, mais on ne le dit pas, on ne s'en rend pas compte.

E3 : Oui, on en utilise beaucoup, mais sans le dire.

E2 : Oui, le modèle corpusculaire, tout ça.

E3 : C'est sûr si l'on pense modèle dans le sens où c'est écrit là. Mais nous on ne pousse pas.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 56 min]

De leur propre aveu, les enseignants « ne poussent pas ». Selon l'avis de l'ensemble du groupe, les élèves savent ce qu'est un modèle parce que « c'est un mot qu'ils connaissent ».

E1 : Souvent, le jeune comprend c'est quoi un modèle, c'est un mot qui existe, qu'ils connaissent, mais de là à savoir que le modèle sert à ça, est-ce que le modèle peut être bon, pas bon... Mais on leur montre, vu qu'ils ont été modifiés, moi je leur dis en science, quelque chose est vrai jusqu'à preuve du contraire. Donc ce modèle-là il a été accepté jusqu'à ce que celui-là, jusqu'à celui-là, etc.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [0 h 58 min]

Cette proximité ou cette familiarité du langage commun peut au contraire induire des obstacles sur le plan scientifique (Dubois, 2008; Vygotski, 1934, 1997). Ainsi, les discussions autour des modèles atomiques et des modèles de la matière sont intéressantes, puisqu'elles ont permis aux enseignants de prendre conscience par eux-mêmes de certaines limites dans leur discours relativement au statut du modèle. Cette prise de conscience peut déboucher sur un ajustement dans le discours de l'enseignant.

E1 : J'ai entendu un de nos anciens élèves qui est maintenant au cégep, il disait « là dans mon cours de chimie ils nous ont parlé que l'atome, les électrons se déplaçaient sur des orbitales des couches s, p, d... Au secondaire ils nous disaient que c'était des couches électroniques. Ce n'est même pas vrai ce qu'ils nous disaient! »

E1 : Juste parce que l'on a changé de mots entre le secondaire et le cégep, là il dit ce que l'on a vu au secondaire c'était pas vrai. On simplifie, là tu as besoin de savoir ça pour ça. On ne va pas plus loin. Mais pour eux autres, ce qu'ils ont vu avec nous c'est fini. On leur a montré le top du top. Mais parfois, je leur dis, plus loin vous allez voir que c'est plus complexe que ça, mais pour cette année c'est correct.

E2 : Depuis que tu m'as compté ça, depuis 3 semaines un mois, maintenant moi je le dis. Vous voyez ça comme ça, mais ensuite ça va se complexifier, vous allez voir d'autres choses... ça va se greffer, ce n'est pas la vérité vraie.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 7 min]

Avec ce changement dans le discours, c'est en fait une toute autre image de l'activité scientifique qui est délivrée et qui rejoint l'une des visées éducatives en S&T relative à la compréhension du fonctionnement de l'activité scientifique (Dahmani & Schneeberger, 2011).

E1 : Mon élève du cégep, il a raison! Parce que ce qu'on lui montre, ce n'est pas la vérité, c'est juste un modèle explicatif. [0 h 5 min 40 s]

E3 : Puis ça explique! Le modèle est quand même bon pour ce dont on a besoin. Avec ce modèle-là, ils sont capables de faire des molécules. [0 h 6 min 57 s]

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06

L'activité scientifique, au lieu d'être envisagée comme la bonne réponse à un problème donné, peut de cette façon être vue « comme une démarche imaginative, réflexive et interrogative » (Santerre, 2006, p. 47). Les enseignants ont pris conscience de la nécessité d'adapter leur discours devant les élèves :

E2 : Oui, il faudrait ouvrir une porte et les informer qu'il existe plus.

E1 : C'est ça! Ce serait juste de dire peut-être qu'il existe plus.

E3 : Oui. Que notre modèle de l'atome, ce n'est pas le dernier. Qu'il y en a d'autres, mais que nous, on n'a pas besoin d'aller plus loin.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 3 - 2014-05-06 – [0 h 09 min]

La discussion de groupe autour des modèles a permis une réflexion sur les caractéristiques de ces objets si présents en S&T. Les enseignants ont pu échanger et prendre conscience de la présence de modèles, très divers, dans leur enseignement :

E1 : En fait, on en fait beaucoup. La science s'y prête énormément. Moi, mon principal modèle c'est l'exemple. Solubilité avec le *Quick* qui reste au fond, il y a plus de place... Je ramène ça à des images qu'ils ont.

Extrait de verbatim : Groupe focalisé n° 1 – 2013-10-23 – [1 h 16 min]

Nous constatons donc que certaines prises de conscience, qui peut-être aboutiront sur des ajustements dans la pratique des enseignants, rejoignent les visées éducatives en S&T. Ces prises de conscience concernent l'apport des modèles et de la démarche de modélisation dans la construction des savoirs (Giordan & De Vecchi, 1987; Morge & Boilevin, 2007; Vosniadou & Brewer, 1994). Ainsi, les enseignants prennent conscience que beaucoup de modèles entrent en jeu dans leur enseignement et qu'ils ont recours à la démarche de modélisation pour concrétiser et représenter une situation abstraite et expliquer un phénomène difficilement accessible (ballon et boîte de mouchoirs/cellule; cordes de différentes couleurs/nerfs mixtes). Cependant, de telles activités restent le plus souvent à la charge de l'enseignant et la construction de modèles par les élèves eux-mêmes reste rare. Lorsque les élèves discutent le modèle proposé par l'enseignant, ces interventions sont ressenties comme des griefs par les enseignants qui envisagent plus un esprit frondeur qu'un esprit critique dans le comportement des élèves relatifs à ce qu'ils nomment des exemples, mais qui rencontrent pourtant les attributs d'un modèle. « Le modèle apparaît donc, dans l'enseignement secondaire, plutôt comme un niveau de connaissance à atteindre que comme un outil d'investigation scientifique » (Sanchez, 2007, p. 109).

Par ailleurs, les langages propres aux sciences et aux technologies (Bisaut, 2005; Jaubert & Rebière, 2000; Lhoste et coll., 2011) ont acquis un tout autre statut que celui d'objets mathématiques. Les formules mathématiques ou de physique, les schémas électriques ou encore les courbes et graphiques utilisés notamment en biologie ou en écologie sont désormais envisagés comme des outils permettant de faire des prédictions, rencontrant donc la fonction ultime du modèle.

Un ajustement de pratique intéressant dont témoignent les enseignants est relatif à la manière d'envisager le fonctionnement de l'activité scientifique (Dahmani & Schneeberger, 2011). Une mise en tension résultant d'un enseignement inductif du modèle atomique a poussé une enseignante à modifier sa manière d'aborder ces

notions dans une optique plus constructiviste où la science est envisagée selon un regard critique et évolutif.

Cependant, une avenue intéressante serait d'utiliser l'enseignement des différents modèles atomiques afin d'engager les élèves dans une réflexion critique sur le rôle et la nature des modèles en sciences (Prins et coll., 2008, 2009) qui permettrait d'initier aux modèles et aux activités de modélisation. Nous rappelons ici les propos d'Hasni (2010), pour qui « l'apprentissage du processus de modélisation est au moins aussi important que l'apprentissage des modèles eux-mêmes » (p. 13). En effet, en S&T, le modèle peut être un moyen d'étude ou un objet d'étude. Or, « dans le modèle, ce qui est véritablement intéressant, pour le scientifique, l'enseignant ou les élèves, c'est sa phase de construction » (Coulin-Talabot & Zahnd, 2012, p. 41). En d'autres termes, l'activité de modélisation implique la nécessaire prise de conscience que ce sont bien des modèles qui sont construits ou manipulés (Pierrard, 1988). Il s'agirait donc, dans certaines situations, de recourir au modèle comme objet d'étude afin de comprendre la nature de l'activité scientifique (Dahmani & Schneeberger, 2011), comme cela est spécifié dans le PFEQ. En se référant aux modèles emboîtés que nous avons évoqués avec Halbwachs (1974, 1975), il pourrait être intéressant, pour l'enseignant, de construire une séquence d'enseignement autour des différents modèles atomiques en considérant « un niveau bien déterminé de modèle, pris parmi les modèles emboîtés de la physique du physicien » (Halbwachs, 1975, p. 23), plutôt que d'envisager une succession de différents modèles pouvant engendrer, dans l'esprit des élèves, cette impression que l'un chasse l'autre.

En résumé, les enseignants ont réalisé des prises de conscience qui rencontrent différents aspects, comme le montre la figure ci-dessous :

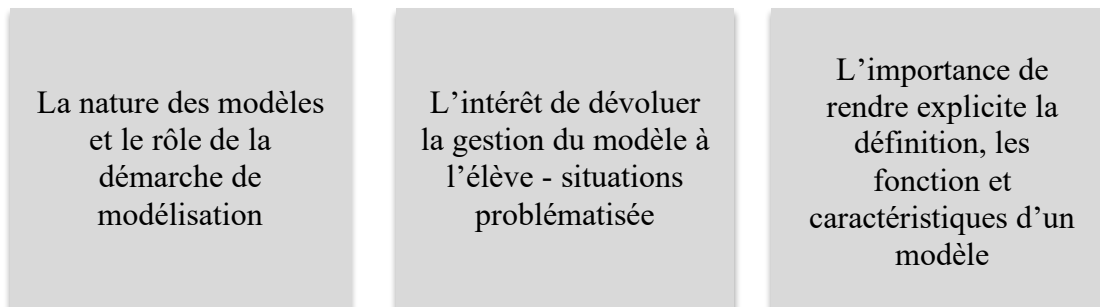


Figure 5.9 : Prises de conscience des enseignants lors des groupes focalisés

Les enseignants ont pris conscience du statut des modèles et de l'importance de la démarche de modélisation en enseignement de S&T. Ils ont réalisé que leurs pratiques d'enseignement mettent en œuvre de tels objets et de telles démarches. Ils réalisent aussi l'importance de mettre en avant les propriétés des modèles et de rendre implicites certains éléments dans leur discours, mais aussi de déléguer de manière plus importante et plus large la gestion du modèle à l'élève. Ces intentions favorisent une meilleure conciliation du concret et de l'abstrait dans le sens où elles fournissent aux élèves des outils - les modèles - qui sont des médiateurs entre le concret et l'abstrait et qui permettent d'explorer les relations entre le champ expérimental de référence et le champ théorique représenté par le modèle. Par ailleurs, il en ressort une meilleure vision de l'activité scientifique en montrant que les connaissances et la science se questionnent et se construisent. On le voit dans la discussion envisagée précédemment sur la cellule et l'osmose (cf. p.156), où un modèle est envisagé à la fois dans sa construction et dans son évolution et où il accompagne ainsi les élèves dans la construction des savoirs. Un autre exemple, tout aussi intéressant, est lié au fait de percevoir la relation $U = R \times I$ comme un modèle et non plus comme une opération mathématique. Alors, ce modèle qui permet d'expliquer le comportement d'un conducteur ohmique traversé par un courant permet aussi de prédire ou d'interpréter le champ expérimental de référence. En ce sens, il devient un outil qui peut aider et soutenir la compréhension conceptuelle. Dans ce contexte, une

enseignante a proposé de mettre à l'essai une stratégie évoquée collectivement, relative à l'enseignement de l'électrocinétique.

5.2.2 Analyse d'un ajustement de pratique planifié : exemple de l'électrocinétique

Les discussions collectives ayant eu lieu lors du deuxième groupe focalisé ont permis d'aborder l'apport de la modélisation en électrocinétique, selon une approche inspirée de Robardet et Guillaud (1997), qui propose une entrée par le champ expérimental de référence. Il s'agissait pour l'enseignante d'aborder les circuits électriques d'une nouvelle manière, comme suite au deuxième groupe focalisé, en laissant les élèves découvrir le champ expérimental de référence, avant d'aborder les notions théoriques d'intensité de tension, etc., et ainsi de leur déléguer la gestion de la modélisation, en envisageant : 1) la nécessité de celle-ci et; 2) les possibilités qu'elle offre en termes de représentation, d'explication et de prédiction.

Les élèves devaient par exemple réaliser un circuit pour faire allumer deux lampes et envisager différentes possibilités, notamment celle de faire allumer les deux lampes ensemble ou bien l'une et l'autre non. L'enseignante a souhaité essayer cette approche, alors qu'elle envisageait auparavant une entrée par le champ théorique. Le synopsis de l'action met en évidence différentes activités de modélisation qui sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau 5.24 : Activités à propos des modèles et la démarche de modélisation lors de la séance d'observation du 2014-03-14 sur l'électrocinétique en quatrième secondaire

MODÉLISATION ENVISAGÉE	MODÈLES UTILISÉS
Modélisation des circuits électriques et de leurs composantes	Graphisme : schéma de principe d'un poste radio : le poste Marconi
	Graphisme : dessin de circuits électriques
	Graphisme : schéma normalisé de circuits électriques
	Graphisme : symboles normalisés de circuits électriques
	Graphisme : représentation d'un nœud de courant
Modélisation de l'électricité statique	Graphisme : modèle particulière de l'électricité statique
	Graphisme : modèle de l'électron
Modélisation du courant alternatif et du courant continu	Graphisme : schéma avec des flèches pour représenter le courant

On constate ici que c'est principalement le graphisme qui est appelé pour représenter différents objets ou phénomènes. L'objectif de la séance étant centré sur les circuits électriques, nous allons centrer notre attention sur les modèles en rapport avec cet objectif, en écartant les éléments ayant servi à l'activation des connaissances antérieures, comme le modèle particulière de l'électricité statique et le modèle de l'électron. Le canevas de l'action didactique va à présent permettre de saisir la structure de l'action didactique.

La lecture du canevas de l'action didactique fait ressortir différents éléments qui concernent les interventions de l'enseignant en classe ainsi que la place prise par les interventions des élèves, ce qui nous donne un premier aperçu de la topogenèse.

Tableau 5.25 : Répertoire des pratiques d'enseignement – Enseignant E4

CATÉGORIES	DÉFINITIONS	ACTIONS DE L'ENSEIGNANT
Gestion de classe	Interventions de l'enseignant relatives à la gestion de la classe	<ul style="list-style-type: none"> – Fait l'appel – Ramène le calme – Attire l'attention – Organise l'activité
Exposé magistral	L'enseignant s'adresse aux élèves qui écoutent afin de <ul style="list-style-type: none"> – Introduire – Définir – Expliquer – Présenter un élément relié à la discipline et le sujet étudié 	<ul style="list-style-type: none"> – Effectue des rappels – Introduit de nouvelles notions – Introduit des nouveaux symboles – Présente la manipulation et le matériel de laboratoire – Présente les étapes du protocole – Explique les règles de sécurité
Activités interactives	L'enseignant questionne les élèves	<ul style="list-style-type: none"> – Questionne les élèves sur la compréhension des objectifs de la manipulation – Questionne les élèves pour s'assurer de la bonne compréhension des consignes

On constate que l'exposé magistral est assez présent lors de cette séance sur l'électrocinétique. Dans cette perspective magistrocentrée (Marcel, 2002), le temps de parole accordé à l'élève est très réduit. Le rôle de ce dernier est d'écouter, de prendre des notes et de compléter le document préconstruit qui est mis à sa disposition, en recopiant ce qui est projeté au TNI. Cette gestion dirigée de l'activité se retrouve dans l'extrait suivant lorsque l'enseignante aborde la distinction entre courant alternatif et continu :

E4 : Dans l'activité 1, on peut voir qu'il existe deux sortes de courants électriques : le courant alternatif et le courant continu. Le courant alternatif c'est celui qui arrive à nos maisons. Et le courant continu, il est par exemple produit par une pile comme celle-là.

Sur le schéma, on voit que pour le courant continu, les électrons se déplacent dans un seul sens, par exemple vers la droite. Alors vous l'indiquez par des flèches, comme ça.

Le courant alternatif, les électrons ne vont pas toujours dans le même sens. Ils oscillent tantôt à droite tantôt à gauche. Comme sur la figure à droite.

Alors, vous complétez par les flèches comme celles en rouge sur le tableau.

Extrait de verbatim : Observation n° 4 – 2014-01-31 – [0 h 09 min]

Toujours dans cette posture magistrocentrée, l'enseignante effectue elle-même les rappels sur l'électricité statique. Puis, elle introduit de nouvelles notions comme l'électricité dynamique, le courant alternatif ou continu :

E : Dans l'électricité statique, on a vu que l'on pouvait arracher des électrons à un objet, qui devenait chargé positivement. Mais que cela ne durait pas. Aujourd'hui, on va faire **circuler** un courant dans des circuits électriques pour faire allumer des ampoules. On va voir qu'il y a différentes sources de courants et que le courant peut-être continu ou alternatif. C'est l'activité 1 de votre document.

Extrait de verbatim : Observation n° 4 – 2014-01-31 – [0 h 6 min]

Cette posture se retrouve lorsque les élèves sont confrontés au champ expérimental, comme le montrent les extraits ci-dessous, où l'on constate que l'enseignante dévolue difficilement cette exploration aux élèves.

E : Donc, le premier défi, il est simple, c'est de faire allumer une ampoule avec le matériel que vous avez sur votre table : une pile, une ampoule, et deux fils. Puis de le dessiner dans votre document. [0 h 20 min]
E4 : Alors pour l'activité 3, vous devez reprendre le dessin de votre petit circuit et le dessiner avec les symboles normalisés. [0 h 38 min]

Extrait de verbatim : Observation n° 4 – 2014-01-31

Afin d'analyser plus finement l'utilisation qui est faite de ces différents modèles, nous allons envisager comment s'élabore la genèse de l'action, ce au regard des modèles et démarches de modélisation.

5.2.2.1 Analyse génétique de l'action

Nous décrivons tout d'abord dans le tableau ci-après la mesogenèse, en regardant comment se crée le milieu par rapport aux modèles abordés lors de cette séance d'électrocinétique.

Tableau 5.26 : Mésogenèse – Obs. du 2014-03-14 – Électrocinétique

QUESTIONNEMENT MÉSOGENÉTIQUE : QUOI/COMMENT QUOI		
Quel modèle est proposé et comment?	Qu'est-ce qui permet de justifier l'utilisation du modèle?	Qu'est-ce qui justifie l'évolution, le changement du modèle?
Schéma de principe d'un poste radio : le poste Marconi	Élément déclencheur : sert de prétexte et de prise de conscience de la nécessité de représenter de manière uniforme un schéma électrique pour « le réparateur qui doit comprendre ce qui se passe »	
Dessin de circuits électriques	La construction de circuits électriques par les élèves	La construction des apprentissages
Schéma normalisé de circuits électriques	Le besoin d'uniformisation expliqué par l'enseignante – comparaison avec le schéma du poste Marconi	La construction des apprentissages
Symboles normalisés des composantes des circuits électriques	La présentation des différentes composantes électriques que les élèves vont utiliser	La construction des apprentissages
Représentation d'un nœud de courant	La construction de circuits électriques par les élèves	La construction des apprentissages

Le contenu épistémique, même s'il présente plusieurs modèles, n'est pas centré sur le rôle de ces derniers dans la construction des connaissances. Ce rôle reste implicite. Il est difficile de déterminer si c'est bien l'avancée du temps didactique ou bien l'avancée de l'heure sur l'horloge qui justifie la progression dans les apprentissages. La chronogenèse abordée ci-après nous permet de l'envisager en abordant « ce qui a trait à la production des savoirs au fil de la temporalité didactique » (Schubauer-Leoni & Leutenegger, 2002, p. 239). Nous nous intéressons à cette évolution temporelle des savoirs reliés aux modèles et à la modélisation dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.27 : Chronogenèse – Obs. du 2014-03-14 – Électrocinétique

QUESTIONNEMENT CHRONOGENÉTIQUE : QUAND/COMMENT QUAND...			
Modèles envisagés	Quand l'introduction du modèle est-elle rendue nécessaire et comment?	Quand le modèle envisagé ne paraît-il plus efficient et comment?	Quand la nécessité de faire évoluer/d'abandonner le modèle, d'en construire un nouveau est-elle survenue et comment?
Schéma de principe d'un poste radio : le poste Marconi	Quand E introduit l'objectif de sa séance et l'utilise comme élément déclencheur	Élément déclencheur : sert de prétexte et de prise de conscience de la nécessité de représenter de manière uniforme un schéma électrique pour « le réparateur qui doit comprendre ce qui se passe »	
Dessin de circuits électriques	Quand E demande aux élèves de dessiner le circuit qu'ils ont réalisé	Quand E évoque la nécessité de symboliser afin d'avoir un langage partagé et compris de tous	Non envisagé
Schéma normalisé de circuits électriques	Quand E évoque la nécessité de symboliser afin d'avoir un langage partagé et compris de tous	Non envisagé	Non envisagé
Symboles normalisés des composantes des circuits électriques	Quand la TTP présente le matériel que les élèves vont utiliser	Il s'agit d'une présentation de la TTP. Ces éléments n'ont pas à être envisagés.	
Représentation d'un nœud de courant	Quand la TTP présente le matériel que les élèves vont utiliser		

L'enseignante gouverne la chronogenèse et elle n'en réalise pas la dévolution (Weisser, 2007), et ce, même si les élèves sont actifs dans les activités de manipulation. Ce sont ces décisions reliées à la progression dans la séance construite au préalable, et structurée par le document sur lequel les élèves travaillent, qui rendent l'introduction des divers modèles nécessaire. L'enseignante décide pour les élèves que leur dessin devient obsolète et introduit alors la nécessité de recourir aux symboles normalisés. En ce sens, la construction des savoirs est le moteur, la temporalité didactique, tout en étant fortement alimentée par l'enseignante, elle-même pressée par la temporalité naturelle. C'est donc elle qui dicte l'introduction de nouveaux modèles et de nouveaux savoirs et non les élèves qui en ressentent le besoin. La topogenèse va nous permettre d'affiner cette compréhension de la position dynamique des acteurs à propos des objets de savoir (Schubauer-Leoni & Leutenegger, 2002).

Tableau 5.28 : Topogenèse – Obs. du 2014-03-14 – Électrocinétique

QUESTIONNEMENT TOPOGÉNÉTIQUE : QUI/COMMENT QUI...				
Modèles envisagés	Qui a introduit le modèle et comment?	Qui a envisagé les limites du modèle utilisé et comment?	Qui a proposé un nouveau modèle et comment?	Qui s'engage sur la voie d'une démarche de modélisation et comment?
Schéma de principe d'un poste radio : le poste Marconi	L'enseignante	Élément déclencheur : sert de prétexte et de prise de conscience de la nécessité de représenter de manière uniforme un schéma électrique pour « le réparateur qui doit comprendre ce qui se passe »		
Dessin de circuits électriques	L'enseignante	Non envisagé	Non proposé	Les élèves
Schéma normalisé de circuits électriques	L'enseignante	E en justifiant la nécessité de normaliser les représentations en faisant référence au schéma du poste Marconi et de l'électricien qui doit comprendre un schéma électrique		Les élèves
Symboles normalisés des composantes des circuits électriques	La TTP	Il s'agit d'une présentation du matériel par la TTP		La TTP qui navigue entre les composantes et leur représentation symbolique
Représentation d'un nœud de courant	La TTP			

Cette analyse confirme que ce sont plus les contraintes pédagogiques que didactiques qui gouvernent l'introduction des différents modèles. Très peu de responsabilités sont laissées aux élèves quant à la construction des savoirs : l'apprenant est donc peu reconnu comme producteur d'un savoir que lui désignerait l'enseignant (Weisser, 2007). L'enseignante ou la TTP ont la responsabilité d'introduire les différents modèles. Cependant, ceux-ci ne sont pas appréhendés quant à leurs différentes fonctions de compréhension, d'explicitation ou de prédiction. Par ailleurs, la fonction de représentation est bien envisagée par l'enseignante.

Certes, il s'agit d'une première séance sur l'électrocinétique. Les élèves ont été confrontés à quelques défis. Certaines équipes les ont relevés. Mais, pour les autres, il a été difficile de prendre en charge la responsabilité relative à la construction du savoir. Pressées par le temps, l'enseignante ou la TTP ont peu délégué la chronogenèse aux élèves, leur épargnant trop rapidement la confrontation au champ expérimental ainsi qu'un travail d'émission d'hypothèses (Robardet & Guillaud, 1997). On peut alors se questionner sur l'engagement intellectuel des élèves dans un tel processus d'apprentissage.

5.2.2.2 Analyse du jeu didactique

Les tableaux ci-dessous décrivent l'analyse du jeu didactique en s'intéressant aux conditions de dévolution, de définition, de régulation et d'institutionnalisation.

Tableau 5.29-a : Condition de dévolution – Obs. du 2014-03-14 – Électrocinétique

Que fait l'enseignant pour engager l'élève dans le jeu d'apprentissage et pour qu'il prenne la responsabilité du travail?
L'enseignant précise-t-il aux élèves qu'ils vont utiliser, manipuler, construire des modèles?
L'enseignante énonce le titre, « du réel au modèle », sans plus de précision.
Les différentes activités ne sont pas abordées comme des modélisations

Tableau 5.29-b : Condition de définition – Obs. du 2014-03-14 – Électrocinétique

Que fait l'enseignant pour s'assurer que l'élève sache à quel jeu il doit jouer et comment le il le fait?
L'enseignant explique-t-il aux élèves le rôle, le statut des modèles?
Schéma électrique du poste Marconi : E précise que le schéma représente les circuits électriques, qu'il s'agit d'un modèle qui permet notamment de comprendre le fonctionnement.

Tableau 5.29-c : Condition de régulation – Obs. du 2014-03-14 – Électrocinétique

Que fait l'enseignant et ce qu'il met en place pour que l'élève produise une stratégie gagnante?
L'enseignant incite-t-il les élèves à « jouer » avec les modèles : laisse-t-elle les élèves utiliser, manipuler, construire, inventer des modèles?
Les élèves doivent relever des défis pour réaliser des circuits électriques répondant à certaines conditions. Mais leur activité reste très contrôlée.
Peu d'espace libéré des interventions directes de l'enseignante ou de la TTP

Tableau 5.29-d : Condition d'institutionnalisation – Obs. du 2014-03-14 – Électrocinétique

Que fait l'enseignant pour entériner une connaissance ou un comportement?
L'enseignant a-t-il recours aux modèles pour institutionnaliser le savoir envisagé?
Non, mais E insiste sur la nécessité de recourir aux dessins normalisés.

En énonçant le titre de la séance « du réel au modèle », l'enseignante évoque la fonction de représentation que revêt un schéma de circuit électrique.

E : La séance d'aujourd'hui s'intitule « du réel au modèle ». On va donc partir de nos circuits électriques qu'on va construire et on va essayer de les **représenter** sur la feuille par des schémas.

Extrait de verbatim : Observation n° 4 – 2014-01-31 – [0 h 00 min]

Elle aborde ensuite l'objectif de la séance et définit ainsi le jeu et l'enjeu de cette dernière (Sensevy, 2008).

On va travailler du concret au modèle. On va réaliser des circuits électriques et on va représenter leurs schémas avec les conventions qui existent.

Extrait de verbatim : Observation n° 4 – 2014-01-31 – [0 h 06 min]

En accord avec notre définition des modèles inspirée de celle d'Halbwachs (1974), nous reconnaissons les caractéristiques d'un modèle dans les schémas de circuits électriques. Effectivement, ces derniers représentent le fonctionnement d'un système électrique et permettent à la fois de l'expliquer et de le prédire. L'enseignante le mentionne d'ailleurs aux élèves relativement au schéma conventionnel représentant le système électrique d'un poste radio Marconi qu'elle projette en préambule :

E : Là ce que je vous projette c'est un poste Marconi. Et ce qu'on voit, ça **représente** les circuits électriques qui sont dans le poste. C'est un modèle des circuits électriques dans l'appareil.

Avec ça, on est censé **comprendre** comment il fonctionne et même le **fabriquer**, et **savoir changer** les morceaux qui peuvent tomber en panne.

Extrait de verbatim : Observation n° 4 – 2014-01-31 – [0 h 06 min]

La présentation d'un tel schéma conventionnel permet de justifier le recours à une telle représentation normalisée ainsi qu'aux symboles associés.

E : Ici, on voit plein d'éléments électriques qui sont représentés par leur modèle. Ça permet de comprendre à un ingénieur ou un technicien comment marche un poste comme celui-là.

Extrait de verbatim : Observation n° 4 – 2014-01-31 – [0 h 09 min]

L'entrée en matière est intéressante. En analysant le discours, on peut reconnaître la fonction de prédiction dans l'emploi des expressions « fabriquer » ou « savoir changer les morceaux » : la compréhension de tels circuits permet de comprendre et donc d'agir sur les systèmes électriques envisagés. Si la visée prédictive du modèle ainsi que ses autres caractéristiques ne sont pas clairement explicitées, la fonction *comprendre* du modèle relatif au poste Marconi est évoquée. Elle est associée à la possibilité d'action. En ce sens, un tel modèle peut être relié au modèle prédictif que Legay (1997) appelle « modèle de décision et de prévision ». Cependant, un tel modèle permet aussi d'expliquer le fonctionnement de l'appareil, pourvu que les lois de l'électricité soient connues et comprises.

5.2.2.3 Analyse des activités de modélisation selon leur enjeu

Dans cette séance d'électrocinétique, nous trouvons une problématisation et les différentes activités sont présentées sous forme de défis.

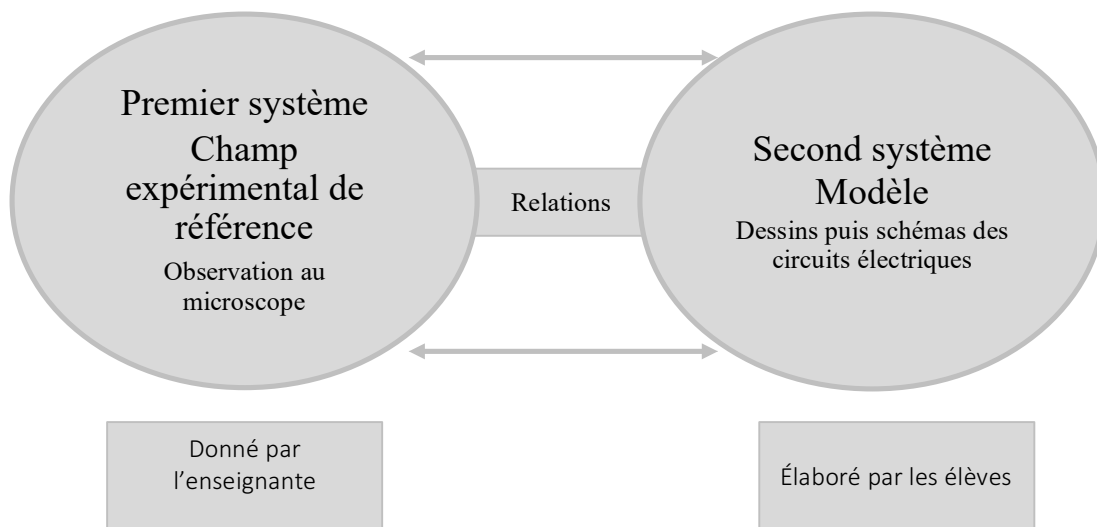


Figure 5.10 : Modèle de la modélisation – Obs. du 2014-03-14 – Électrocinétique

On a donc un enjeu de modélisation qui devrait être élevé, puisqu'un seul système est donné aux élèves, celui du champ expérimental de référence, en charge pour eux de produire celui du modèle en faisant appel au dessin puis au schéma. Ils ont par exemple les consignes pour faire allumer deux ampoules dans un circuit électrique avec la possibilité de faire allumer une ampoule et non l'autre.

Cependant, l'enseignante ou la TTP laissent très peu d'espaces de liberté aux élèves, des espaces où ces derniers seraient affranchis de ses interventions directes (Calmette, 2009). On retrouve même une sorte d'effet Topaze (Brousseau, 1998) lorsque la TTP insiste fortement sur la nécessité d'avoir deux boucles pour qu'une ampoule allume et non l'autre. L'enseignante (ou la TTP) a tendance « à intervenir comme proposeur des connaissances qu'[elle] veut voir apparaître » (*Ibid.* p. 59). L'enjeu de modélisation est donc plutôt faible dans ce contexte. Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de cette séance.

Tableau 5.30 : Récapitulatif des analyses - Obs. du 2014-03-14 – Électrocinétique

Analyse génétique	Mésogenèse	<ul style="list-style-type: none"> – Objet de savoir : circuits électriques – circuits en série et en parallèle – Problématisation sous forme de défis
	Chronogenèse	<ul style="list-style-type: none"> – Besoin épistémique
	Topogenèse	<ul style="list-style-type: none"> – Position topogénétique haute de l’enseignante et de la TTP
Analyse fonctionnelle du jeu didactique		<ul style="list-style-type: none"> – Les élèves doivent relever des défis pour réaliser des circuits électriques, puis les représenter sous forme de dessin, puis de schéma
Modèle de la modélisation : <ul style="list-style-type: none"> – Niveau de la modélisation envisagée : 1 – Enjeu : élevé → faible 		<ul style="list-style-type: none"> – 1 système donné aux élèves : champ expérimental de référence. – En charge pour eux de produire celui du modèle (dessin – schéma)

5.3 Principaux résultats

Nous retenons de ce chapitre que les enseignants ont recours à plusieurs stratégies pour concilier le concret et l’abstrait. La majorité de ces stratégies sont utilisées pour expliquer et faire comprendre un phénomène abstrait ou difficilement accessible. La plupart sont des modèles qui reposent sur la pensée analogique. Par contre, les fonctions supérieures, comme la fonction de prédiction, sont plus rarement utilisées (P. Roy & Hasni, 2014). De même, les modèles sont peu abordés ou discutés en fonction de leurs caractéristiques, de leur contexte d’utilisation ou de limites, alors que certaines réflexions d’élèves pourraient ouvrir la porte à de telles discussions. Par exemple, le recours fréquent aux modèles analogiques présente un contexte pertinent pour une prise de conscience du statut des modèles en S&T comme intermédiaire entre le concret et l’abstrait. Alors, de telles situations offrent un prétexte intéressant pour discuter des limites des analogies rencontrées, puisque les élèves les critiquent. Selon ces mêmes auteurs (*Ibid.*), « ce sont des moments où les élèves pensent de manière créative, et de tels moments sont des points culminants dans

l'apprentissage¹² » (p. 9). Mais, les enseignants critiquent le fait que les élèves critiquent leurs analogies. Pourtant, Harrison et Coll (2008) insistent sur le fait de pas considérer les modèles et les analogies comme définitifs, mais plutôt de s'en emparer, de les changer, de les adapter et de tester jusqu'à leurs limites¹³, quitte à les abandonner. De ce fait, le rôle cognitif du modèle comme intermédiaire concret pour représenter et comprendre une réalité abstraite et complexe est négligé.

Lors des observations en classe, si l'on constate la présence de nombreux modèles dans les pratiques d'enseignement, on remarque aussi que la responsabilité de ces objets est très peu déléguée à l'élève qui se contente de les manipuler sans entrevoir leurs caractéristiques ou leur potentiel. Pourtant, l'activité scientifique devrait principalement viser la construction d'explications puisque, selon Lhoste, Peterfalvi et Orange (2007), « c'est dans la relation qu'ils entretiennent avec les problèmes qui les ont fondés que les savoirs scientifiques prennent tout leur sens » (p. 3). Or, il s'avère que les explications examinées lors de nos observations ne sont pas proposées dans un contexte de nécessité (Fabre, 1999). Elles perdent alors leur caractère scientifique et deviennent de « simples réponses factuelles qui se succèdent au hasard » (*Ibid.* p. 194). Ainsi, les modèles abordés dans ce qui précède ne découlent pas d'une situation qui les rend nécessaires, par exemple une problématisation où le modèle deviendrait un outil indispensable pour résoudre le problème. Ils sont, en quelque sorte, présentés comme des objets finis au lieu de faire l'objet de constructions, de confrontations et de discussions permettant de faire entrevoir leur statut hypothétique, modifiable et contextuel (Martinand, 2010b). Les pratiques d'enseignement restent

¹² Traduction libre de « These are moment when student think creatively, and such moment can be high points in their learning » (Harrison et Coll, 2008, p. 9)

¹³ Traduction libre de « Please, avoid seeing our analogies and models as definitive : change them, adapt them, and look for ways they can be improved, and always watch for the point the analogy and model breaks down » (p. 2)

dans l'ensemble assez expositives et centrées sur l'enseignant qui délègue peu la topogenèse à l'élève.

Cependant, les enseignants ont pris conscience de l'importance à accorder dans leur enseignement aux pratiques liées aux modèles et aux démarches de modélisation. Partant du constat qu'ils ne faisaient pas de modélisation faute de temps, ils ont, comme suite aux réflexions collectives, réalisé qu'ils proposaient beaucoup de modèles aux élèves. Par contre, ils leur délèguent peu de travail de modélisation. Ces prises de conscience ont abouti sur un ajustement de pratique expérimenté en classe et sur de possibles ajustements que les enseignants ont envisagé dans leur pratique, comme celui de rendre le rôle et le statut des modèles plus explicites, ou encore d'utiliser l'enseignement des différents modèles atomiques pour faire percevoir aux élèves le rôle et le statut des modèles ainsi discutés en termes de contexte historique et scientifique, mais aussi de limites. Ces éléments sont récapitulés dans la figure suivante :

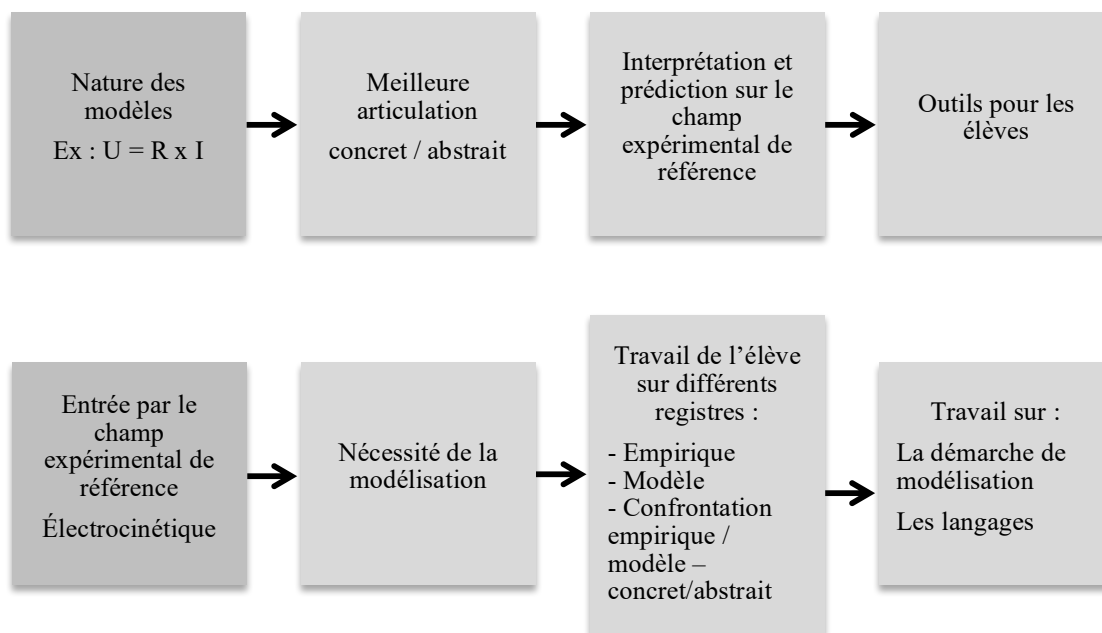


Figure 5.11 : Retombées des ajustements envisagés

Ces prises de conscience ont des répercussions importantes dans les pratiques d'enseignement. Elles génèrent une vision de l'activité scientifique où les modèles quittent leur statut d'objets figés et intouchables, pour redevenir des outils qui aident les élèves à mieux concilier le concret et l'abstrait. En manipulant de tels outils, les élèves peuvent construire des connaissances qui à leur tour peuvent être questionnées. Comme tout outil qui se respecte, le modèle peut être amélioré, voire abandonné si l'élève juge qu'il ne convient plus.

Par ailleurs, l'entrée par le champ expérimental de référence, où la gestion du modèle est déléguée à l'élève, permet à ce dernier d'être confronté à plusieurs registres et de travailler, et les langages, et la démarche de modélisation dans des situations problématisées. En effet, contrairement aux autres séances observées, la séance d'électrocinétique portait de défis qui obligeaient les élèves à se questionner et à explorer le champ expérimental de référence. Il en résulte une situation beaucoup plus riche sur le plan épistémique, où la chronogenèse n'est plus homogène au temps de l'horloge, mais bien dépendante de la construction des savoirs, même si quelques glissements comparables à un certain effet Topaze (Brousseau, 1998), notamment de la part de la TTP, ont diminué l'enjeu des modélisations.

Les ajustements évoqués, s'ils se concrétisent, rencontrent les visées éducatives concernant les démarches, les savoirs, l'appropriation d'une culture en S&T et les langages, ce qui confirme l'importance de recourir aux modèles et aux démarches de modélisation dans une logique d'investigation scientifique. En outre, la présence de nombreux modèles dans les pratiques d'enseignement analysées offre un tremplin pour envisager des possibles didactiques (Orange Ravachol, 2005). Ces possibles sont élaborés en considérant : 1) les prises de conscience et des ajustements envisagés; 2) les appuis théoriques issus d'articles de didactique; 3) les prescriptions du PFEQ (2007) et; 4) les visées éducatives abordées précédemment. Ces éléments sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.31 : Possibles didactiques construits à partir des prises de conscience des enseignants envisagés lors des groupes focalisés

PRISE DE CONSCIENCE – AJUSTEMENT POSSIBLE	APPUIS THÉORIQUES	POSSIBLES DIDACTIQUES	VISÉES ÉDUCATIVES
Nature des modèles et démarche de modélisation.	<ul style="list-style-type: none"> – Définitions – Fonctions et caractéristiques (Halbwachs, 1974, Martinand, 1992, 1994, Amato et al, 2012) – Grille d’analyse des modèles (Amato et al, 2012) – Démarche du PFEQ (2007) 	<ul style="list-style-type: none"> – Travailler les langages en S&T et leurs significations en S&T – Envisager, avec les élèves, des exemples de modèles existants pour réfléchir collectivement à leur domaine de validité et leur pertinence 	<ul style="list-style-type: none"> – Démarches – Culture et images des S&T – Langages en S&T
Présence de nombreuses stratégies et modèles dans les pratiques d’enseignement.	<ul style="list-style-type: none"> – Définitions – Fonctions et caractéristiques (Halbwachs, 1974, Martinand, 1992, 1994, Amato et al, 2012) 	<ul style="list-style-type: none"> – Expliciter la notion de modèle auprès des élèves – Définir ce qu’est un modèle : en termes de fonctions et caractéristiques 	<ul style="list-style-type: none"> – Culture et images des S&T – Langages en S&T
Importance de dévoluer la démarche de modélisation aux élèves.	<ul style="list-style-type: none"> – Aide à la conceptualisation (Harrison et Coll, 2009) – Nécessaire prise en compte de deux mondes (Tiberghien, 2005) – Articulation concret-abstrait (Martinand, 1992, 1994, 2010) 	<ul style="list-style-type: none"> – Recourir aux analogies pour engager les élèves dans des démarches de modélisation – Envisager les limites et la pertinence des analogies – Encourager l’esprit critique des élèves par rapport aux modèles proposés par les enseignants 	<ul style="list-style-type: none"> – Démarches – Savoirs – Culture et images des S&T – Langages en S&T
Utilisation implicite des modèles. Importance du langage : rendre l’implicite explicite	<ul style="list-style-type: none"> – Importance de l’étape d’explicitation du modèle (Sanchez, 2007) 	<ul style="list-style-type: none"> – Envisager les démarches scientifiques et de modélisation à partir de contextes historiques pertinents et de repères culturels pour faire prendre conscience aux élèves du rôle et statut des modèles (PFEQ, 2007) – Définir clairement ce qu’est un modèle : en termes de fonctions et caractéristiques 	<ul style="list-style-type: none"> – Démarches – Savoirs – Culture et images des S&T – Langages en S&T

Ces possibles didactiques prennent la forme de propositions permettant une meilleure utilisation des modèles et de la démarche de modélisation. Neuf propositions émergent de ce qui précède comme le montre la figure ci-dessous :

- 1) Expliciter la notion de modèle auprès des élèves.
- 2) Définir précisément ce qu'est un modèle : en termes de définition, fonctions et caractéristiques.
- 3) Envisager, avec les élèves, des exemples de modèles existants : réflexion collective en termes de validité et pertinence.
- 4) Travailler les langages pour comprendre leurs significations en S&T.
- 5) Recourir aux analogies pour engager les élèves dans des démarches de modélisation.
- 6) Utiliser les analogies pour enseigner la modélisation.
- 7) Envisager les limites et la pertinence des analogies.
- 8) Encourager l'esprit critique des élèves par rapport aux modèles et aux analogies proposés par les enseignants.
- 9) Envisager la démarche scientifique et la démarche de modélisation à partir de contextes historiques et de repères culturels pertinents (PFEQ, 2007) pour faire prendre conscience du rôle et statut des modèles aux élèves.

Figure 5.12 : Propositions didactiques

Partant de la pratique des enseignants, ces propositions semblent prometteuses et viables en contexte (Von Glaserfeld, 1995). Elles constituent les principales retombées de ce travail de recherche.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

LA DÉMARCHE DE MODÉLISATION, ESSENTIELLE DANS L'ENSEIGNEMENT DE S&T

Nous arrivons à l'issue de ce travail de recherche, dont la problématique concerne l'apport des modèles et de la démarche de modélisation comme contribution à l'articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement de S&T au 2^{ème} cycle du secondaire. Un retour sur les objectifs et la question de recherche permet, dans un premier temps, d'envisager dans quelle mesure ce travail nous a permis de répondre à cette question. Puis, une réflexion sur la méthodologie adoptée ouvre de nouvelles perspectives et aborde les limites d'une telle recherche malgré toutes les précautions prises lors de la planification et de la collecte de données.

La problématique de recherche est née d'une préoccupation relative à l'articulation du concret et de l'abstrait, en enseignement de S&T au 2^{ème} cycle du secondaire. Cette confrontation entre l'expérience et le concept est inhérente à l'activité scientifique. Elle n'est pas sans poser certains problèmes à de nombreux élèves qui éprouvent des difficultés à naviguer entre les différents registres interpellés en S&T : l'empirique et le théorique. Afin qu'il y ait construction de connaissance, les dispositifs pédagogiques doivent prendre en compte et articuler ces deux éléments. Pour cela, deux outils essentiels sont à la disposition des enseignants : les modèles et la démarche de modélisation. De ce fait, l'objet de la recherche est centré sur les pratiques d'enseignement utilisées pour articuler concret et abstrait dans un enseignement de S&T centré sur la modélisation, ainsi que sur les ajustements de pratique considérés par les enseignants pour faciliter cette articulation.

Le cadre théorique et la méthodologie de recherche utilisés ont permis de faire émerger des appuis intéressants au regard de la question de recherche, et de comprendre comment les modèles et la démarche de modélisation peuvent contribuer à cette articulation du concret et de l'abstrait dans l'enseignement de S&T. Les analyses des discussions ayant eu cours, lors des groupes de discussion, ainsi que celles concernant les observations en classe, ont montré que les enseignants sont confrontés à plusieurs situations abstraites ou phénomènes difficilement accessibles qu'ils ont besoin de concrétiser pour favoriser la construction des connaissances chez les élèves. Ainsi, il s'avère qu'ils ont recours à de nombreux modèles dans leur enseignement. Rappelons que le modèle dans le contexte de notre travail correspond à un système de signes renvoyant à « des figures, des graphiques des symboles mathématiques ou bien des propositions formées avec des mots » (Halbwachs, 1974, p. 39).

Les fonctions principales rencontrées dans les modèles que les enseignants mettent en place dans leur pratique d'enseignement sont essentiellement les fonctions de représentation et d'explication de situations abstraites. D'ailleurs, cette fonction de représentation reste, selon Martinand (1992), la plus importante en contexte scolaire. Les modèles et la démarche de modélisation font donc partie intégrante des pratiques d'enseignement en S&T rencontrées. L'enjeu se situe alors dans la manière dont l'enseignant organise le milieu didactique, et notamment le milieu matériel qui doit offrir à l'élève des objets dont celui-ci a besoin pour entrer dans le problème. En ce qui nous concerne, les objets qui retiennent notre attention sont les modèles mis en jeu.

C'est ainsi que nous avons analysé les pratiques d'enseignement sous l'angle des pratiques effectives et déclarées afin de comprendre comment les modèles et la démarche de modélisation peuvent contribuer à l'articulation du concret et de l'abstrait en S&T. Pour l'essentiel, il est ressorti de cette analyse que les activités

envisagées restent magistrocentrées et que la gestion des savoirs qui englobe leur construction est peu déléguée à l'élève. Les situations d'enseignement-apprentissage abordées restent essentiellement didactiques : l'intention d'enseigner y est alors clairement explicite et dévoilée à l'élève. Par ailleurs, le plus souvent, ce sont les contraintes liées à la temporalité naturelle qui gouverne la chronogenèse plutôt que les contraintes épistémiques. De ce fait, l'engagement intellectuel des élèves dans la construction des savoirs, ainsi que dans la conceptualisation, est limité. En effet, les démarches de modélisation rencontrées sont souvent envisagées de manière péremptoire, dans le sens où elles proposent la plupart du temps la réalisation d'une expérience prototypique, ou bien la construction d'un prototype selon un protocole déjà élaboré et dirigé, ce qui limite le questionnement chez l'élève. Les modèles restent des outils peu ou mal exploités.

Dans les situations abordées avec les enseignants, un modèle apparaît souvent comme un objet fini et figé qui laisse peu d'espaces de liberté, néanmoins nécessaires pour que les élèves prennent en main la responsabilité des apprentissages. Les enseignants semblent le concevoir comme un objet prototypique vers lequel il souhaite voir tendre l'ensemble des élèves, une sorte d'aboutissement qui permet peu les discussions. Dans un tel travail, l'élève est faiblement engagé sur le plan cognitif. Il n'est d'autre part pas confronté à un réel problème scientifique. Or, toute connaissance se doit d'être une réponse à une question (Bachelard 1938, 2004), ce qui se concrétise très peu dans les observations en classe où peu de situations sont problématisées.

Certes, à l'issue de ce travail, nous constatons la présence de nombreux modèles et activités de modélisation dans les pratiques d'enseignement. Cependant, ces activités sont peu déléguées aux élèves. Les modèles leur sont juste présentés et essentiellement relégués au rôle d'exemples, alors que des analogies intéressantes pourraient être exploitées sans être trop gourmandes en temps. Cet aspect chronophage des activités est en effet une grande préoccupation chez les enseignants

avec qui nous avons travaillé. Les modèles analogiques rencontrés offrent essentiellement une fonction explicative et ils permettent une exploration rapide d'un phénomène, tout en étant intellectuellement peu coûteux. Ils permettent de transformer facilement un concept en une image ou encore un noyau figuratif (Moscovici, 1976), rendant ainsi leur intégration plus facile au niveau cognitif en donnant à voir une représentation moins sèche que la structure abstraite (Drouin, 1988). La fonction prédictive pourrait aussi être envisagée, ce qui permettrait d'explorer ces modèles en termes de limites et de fécondité avec la possibilité de discuter et d'élaborer collectivement un modèle plus abouti.

Malheureusement, dans les pratiques d'enseignement concernées, le statut des modèles sur le plan de la construction des connaissances scientifiques, comme objet permettant de connaître et donc de représenter une situation abstraite, n'est pas réellement envisagé avec les élèves et reste de ce fait implicite. Ceci n'est pas sans poser problème sur le plan épistémique, puisqu'«une démarche d'investigation devrait nécessairement s'appuyer sur la confrontation d'un modèle explicite et d'un réel de terrain ou de laboratoire» (Sanchez, 2007, p. 289). L'explicitation du modèle devrait donc être un moment crucial pour qu'une telle démarche soit réellement une démarche d'investigation conduite par les élèves et non pas dirigée, mais plutôt soutenue par l'enseignant.

Or, en ce qui concerne les possibilités offertes par la démarche de modélisation, nous remarquons que ces dernières restent peu exploitées dans les pratiques d'enseignement. Les rares démarches de modélisation conçues dans cette recherche, comme processus qui consiste à construire ou modifier un modèle en envisageant son évolution possible en matière de limites et de valeur scientifique, sont effectuées seulement par les enseignants. Les élèves n'ont pas de telles responsabilités à leur charge, alors que dans l'élaboration des connaissances, «la construction d'une représentation peut être plus efficace que des inférences faites à partir des seules

données perceptives (ce que les élèves font spontanément) » (Goffard & Dumas-Carré, 2005, p. 157). Il serait alors intéressant de considérer l'enseignement de la modélisation en favorisant une explicitation par l'élève de certaines relations :

- Relation entre objets et événements
- Relation entre objets et événements et théories/modèles
- Relations d'éléments théoriques/modèles à des objets et événements
- Relations au sein du monde des théories/modèles

L'exploration de ces diverses relations favoriserait l'interprétation du modèle sur le réel. Sans cette phase d'interprétation et de questionnement du modèle, on constate un glissement du « tout se passe comme si » vers « tout se passe ainsi » (Halbwachs, 1973). Les enseignants ont par ailleurs évoqué certaines précautions à prendre avec le langage qu'ils emploient et qui donne justement aux élèves l'impression du « tout se passe ainsi » dans les activités réalisées. En fait, la fonction explicative permet modestement de dire « il semble que cela pourrait se passer comme ceci » alors que la fonction prédictive, permet d'envisager un « voyons jusqu'où on peut aller avec ce modèle... ». Il s'agit de percevoir la modélisation comme une sorte de mise à l'épreuve qui permet d'explorer les limites de validité du modèle pour l'améliorer ou lui substituer un autre modèle plus performant.

L'enseignement des sciences devrait prendre en compte cet état de fait : le savoir scientifique n'est qu'une construction, une tentative pour expliquer ce qu'il y a dans une boîte que l'on ne peut pas ouvrir. La modélisation est comme le code qui nous permet de traduire et expliquer les phénomènes du monde qui nous entourent et qui sont la petite partie qui émerge de la boîte fermée. Le reste demeure inaccessible. Seules certaines manifestations du contenu de la boîte nous sont accessibles par nos sens et nous tentons de les expliquer. Il se peut qu'un jour nous ayons accès au contenu de la boîte et que l'explication que nous avons construite soit à des années-lumière de ce qu'il y a dans la boîte. C'est ainsi : les explications scientifiques ne

restent que des conjectures et l'enseignement des S&T devrait permettre de considérer ce statut hypothétique des connaissances.

D'un point de vue méthodologique, nous soulignons l'intérêt de la Théorie de l'analyse génétique combinée à la théorie des situations didactiques pour analyser les pratiques d'enseignement. Ces dernières ont révélé, en cours de recherche, une particularité relative à la nature implicite des savoirs en jeu. Cette particularité a soulevé certaines difficultés et l'analyse génétique, ainsi que les questionnements qui lui sont sous-jacents, a permis d'envisager l'analyse de ces pratiques d'enseignement sous l'angle des caractéristiques des modèles et démarches de modélisation. De même, le recours au modèle de la modélisation (Amato-Imboden et coll., 2012; Dorier & Burgermeister, 2013; Primatesta & Kummer, 2012) a permis de cerner l'enjeu des modélisations rencontrées. Il est apparu que les enjeux des séances analysées étaient plutôt faibles, même si certaines situations présentaient des enjeux prometteurs. L'absence de problématisation, ou certains glissements vers un effet Topaze notamment (Brousseau, 1998), sont responsables pour l'essentiel de ce manque d'enjeu. Ainsi, nous pensons que le croisement de différents cadres d'analyse – didactique pour analyser les pratiques d'enseignement (Schubauer-Leoni et coll., 2007; Sensevy, 2001b, 2011d; Sensevy & Santini, 2006) – ou épistémologiques permettant de cerner le rôle des modèles et démarches de modélisation (S. Bachelard, 1979; Bunge, 1973, 1983, 2001; Halbwachs, 1974; Johsua & Dupin, 1993) a favorisé l'émergence de résultats probants.

Par ailleurs, les enseignants ont réalisé certaines prises de conscience favorisées par les groupes focalisés où les discussions collectives sont venues nourrir les réflexions de chacun. De ces prises de conscience, sont nées des intentions d'ajustement pour les enseignants et des propositions didactiques qui se concrétisent en neuf énoncés qui rejoignent des visées éducatives en S&T et qui, nous l'espérons, encourageront les enseignants à s'engager dans des démarches de modélisations avec leurs élèves. En

effet, ces propositions didactiques rejoignent le critère de viabilité en contexte puisqu'elles appartiennent déjà aux enseignants et à leurs pratiques dont elles sont directement issues.

Cependant, nous sommes aussi conscientes des limites de ce travail. En ce qui concerne les ajustements évoqués, ils ne sont que des intentions d'ajustement résultant de prises de conscience. La question de leur authenticité par rapport à la désirabilité sociale peut effectivement être soulevée. Mais, ces discussions ont eu cours dans une situation réflexive et dans une perspective socioconstructiviste où les prises de conscience des acteurs se sont manifestées lors de discussion entre pairs. Elles ont donc été celles des acteurs eux-mêmes. Ce contexte de réalisation favorise la création individuelle et le changement (Lafortune & Deaudelin, 2001), qui est de plus envisagé sous l'angle d'ajustement (Couture et coll., 2012; Savoie-Zajc, 2005). Il est nécessaire de dire que le changement est un long processus (Lafortune, 2008; Lafortune & Deaudelin, 2001). Nous ne pouvons envisager d'accéder à de telles retombées dans le contexte d'une recherche doctorale.

Certes, il aurait été intéressant d'aller plus en profondeur en envisageant un nombre plus important de groupes de discussion. En effet, il faut considérer un certain temps pour que s'établisse un lien de confiance qui favorise les échanges entre tous les participants. Il était même frustrant de s'arrêter au troisième groupe focalisé alors que ce lien semblait réellement présent et que les discussions s'en trouvaient plus détendues, plus ouvertes et plus riches. L'ensemble des participants aurait aimé voir se poursuivre un tel travail sur deux autres rencontres, notamment les enseignants qui ont apprécié ces échanges et réflexions communes qui ne se présentent qu'en de trop rares occasions, selon eux. En ce qui concerne les observations en classe, il aurait peut-être été plus propice d'observer les enseignants une fois ce lien de confiance tissé. L'approche aurait été différente et peut-être certains auraient-ils souhaité

essayer des scénarios permettant de confronter les élèves à des démarches de modélisation en leur déléguant la gestion des modèles.

Au terme de cette recherche, nous espérons avoir contribué à la réflexion engendrée par les recherches en didactique des S&T sur l'importance à accorder aux modèles et démarches de modélisation dans l'enseignement de S&T. Notre étude rejoint les conclusions déjà apportées par de nombreuses recherches que nous avons évoquées précédemment (Crawford & Cullin, 2004; Justi & Gilbert, 2002a, 2002b, 2003; Justi & van Driel, 2005; P. Roy & Hasni, 2014). Mais, l'intérêt de cette thèse est de proposer des retombées et pour la recherche et pour la pratique, dans un critère de double vraisemblance (Desgagné, 2007; Dubet, 1994). Les retombées pour la pratique se concrétisent en propositions didactiques, tandis que les retombées pour la recherche envisageant le dépassement des simples constats déficitaires et proposent des possibles didactiques (Orange Ravachol & Orange, 2015). Ces possibles didactiques ont été construits à partir de la pratique des enseignants et des réflexions collectives réalisées lors des groupes focalisés, qui ont permis de faire émerger un éventail de stratégies pour comprendre comment travailler avec et sur les modèles et la démarche de modélisation en enseignement de S&T au 2^{ème} cycle du secondaire.

Les résultats obtenus, s'ils n'autorisent pas une généralisation, apportent cependant un éclairage intéressant sur les pratiques d'enseignement mettant en œuvre modèles et démarches de modélisation. Ils suggèrent aussi des pistes de développement à explorer, et ce, tant au niveau de la recherche que de la pratique ou encore du lien entre le monde de la recherche et celui de la pratique. Ainsi, il pourrait être intéressant de poursuivre un travail de cette veine en s'engageant avec un ou plusieurs enseignants volontaires dans un projet permettant de planifier et de tester en classe des activités sur un réel enseignement de la modélisation, à partir des propositions didactiques élaborées dans cette recherche. Dans une perspective de développement professionnel, ces activités pourraient être ensuite partagées avec le reste de la

communauté scolaire. Dans ce contexte, il serait possible d'étudier quelle gestion cognitive l'élève fait de ces activités de modélisation.

Plus que jamais, il nous paraît indispensable que les enseignants développent une meilleure compréhension de ces objets et de leur utilisation en S&T et dans l'enseignement de S&T. Si le rôle de la formation initiale paraît fondamental, celui de la formation continue des enseignants se révèle indispensable. Dans cette perspective, un dispositif de communauté d'apprentissage, comme celui que nous avons mis en place dans une perspective collaborative, nous semble pertinent pour envisager le développement professionnel des enseignants. Nous avons été un témoin privilégié des discussions qu'un tel dispositif favorise et des réflexions ainsi engendrées. D'autre part, les outils utilisés pour présenter les données (canevas et synopsis) et pour analyser ces données (théorie de l'action conjointe en didactique et analyse des régulations didactiques) fournissent une combinaison pertinente permettant d'obtenir une analyse fine pour fonder des résultats valides d'un point de vue scientifique qui viennent enrichir la compréhension des pratiques d'enseignement.

Retenons pour conclure que la confrontation fondamentale entre l'expérience et le concept est l'essence même de toute activité scientifique. Elle est indissociable de la pensée humaine puisque la pensée procède par abstraction afin d'expliquer, avec les outils dont elle dispose, comme les idées, les concepts, un réel parfois compliqué, parfois inaccessible ou encore invisible. L'être humain est depuis l'aube des temps en contact avec des événements de la nature ambiante qui l'émerveillent, le subjuguent, l'intriguent, ou l'effraient. Il a toujours cherché à comprendre, à s'expliquer cet environnement, ne serait-ce que pour vaincre ses peurs et assouvir sa curiosité. Implicitement, nous construisons tous des modèles. Du modèle naïf imaginé par l'enfant au modèle scientifique du savant, en passant par le modèle intermédiaire de l'adolescent, tous nous permettent d'appréhender comment l'être humain, petit ou grand, conçoit le monde qui l'entoure et qu'il cherche à comprendre. Le scientifique

chevronné a, un jour, été un enfant. Il s'est questionné, il a rêvé, imaginé, inventé, créé. Et l'enfant, s'il est encouragé dans de tels processus de création intellectuelle, raffînera ses explications, ses modèles et qui sait, peut-être un jour deviendra-t-il un grand scientifique... ou plutôt... peut-être ne cessera-t-il jamais d'être un scientifique, ce scientifique en herbe dont l'insatiable curiosité de la jeunesse ne tarira jamais.

BIBLIOGRAPHIE

- Abd-El-Khalick, F. (2012). Examining the Sources for our Understandings about Science: Enduring confluences and critical issues in research on nature of science in science education. *International Journal of Science Education*, 34(3), 353-374. doi: 10.1080/09500693.2011.629013
- Abd-El-Khalick, F. & Akerson, V. L. (2004). Learning as Conceptual Change: Factors Mediating the Development of Preservice Elementary Teachers' Views of Nature of Science. *Science Teacher Education*, 88(5), 785-810.
- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701. doi: 10.1080/09500690050044044
- Aktan, M. (2005). *Investigation of prospective teachers' knowledge and understanding of *models and modeling and their attitudes towards the use of models in science education*. Purdue University, Ann Arbor - (USA). Repéré à <http://search.proquest.com/docview/305425915>
- Alberta. Ministère de l'Éducation. (2006). *Évaluation : Réflexions authentiques sur des apprentissages importants*: Gouvernement d'Alberta,. Repéré à <http://education.alberta.ca/media/600430/chap6.pdf>
- Amato-Imboden, M., Coulin-Talabot, F., Kummer, J., Primatesta, S., Van Tuinen Sabbadini, G. & Zahnd, L. (2012). *La modélisation en biologie, comment la traiter en classe*. (pp. 47). Genève: Université de Genève. Repéré à http://tecfa.unige.ch/perso/lombardf/projets/modelisation/modelisation_en_bio_brochure-finale.pdf
- Anadón, M. & Couture, C. (2007). Présentation - La recherche participative, une préoccupation toujours vivace. Dans M. Anadón (Éd.), *La recherche participative* (pp. 1-7). Québec: Presses Universitaires du Québec.
- Astolfi, J.-P. & Delevay, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris: PUF.

- Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B. & Vérin, A. (2006). *Comment les enfants apprennent les sciences?* (3). Retz.
- Bachelard, G. (2004). *La formation de l'esprit scientifique* (3^e). Paris: Vrin. (1938).
- Bachelard, S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et justification des modèles. Dans Delattre & Thellier (Éds.), *Élaboration et justification des modèles : Applications en Biologie* (Vol. Tome I, pp. 3-19). Paris - France: Maloine.
- Bardin, L. (2007). *L'analyse de contenu*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Baribeau, C. (2005). L'instrumentation dans la collecte de données - Le journal de bord du chercheur. *Recherches qualitatives, Hors série*(2), 98-114.
- Barlet, R. & Plouin, D. (1994). L'équation-bilan en chimie : un concept intégrateur source de difficultés persistantes. *ASTER, n°18*, pp.27-56.
- Barma, S. (2007). Enseigner les sciences pour développer la pensée critique. Dans P. Potvin, M. Riopel & S. Masson (Éds.), *Regards multiples sur l'enseignement des sciences* (pp. 35-48). Québec - QC: Multimondes.
- Barmby, P., Kind, P. M. & Jones, K. (2008). Examining changing attitudes in secondary school science. *International Journal of Science Education*, 30, 1075-1093.
- Barreau, H. (2006). Théorie. Dans D. Lecourt (Éd.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (4, pp. 1092-1098). Paris: Presses Universitaires de France.
- Barry, S. (2010). *As-tu vu les modèles? Conversation entre chercheurs et enseignants*. Montréal: Bande didactique.
- Barry, S. (2013). Le cas d'une recherche collaborative initiée par le chercheur autour du développement de la modélisation chez les élèves. Dans N. Bednarz (Éd.), *Recherche collaborative et pratique enseignante : regarder ensemble autrement* (pp. 55-67).
- Barry, S. & Saboya, M. (2015). Un éclairage sur l'étape de co-situation de la recherche collaborative à travers une analyse comparative de deux études en didactique des mathématiques. *Recherches Qualitatives*, 34(1), 49-73.

- Becker, F. S. (2010). Why don't young people want to become engineers? Rational reasons for disappointing decisions. *European Journal of Engineering Education*, 35(4), 349-366. doi: 10.1080/03043797.2010.489941
- Beckers, J. & Simons, G. (2010). Analyse rétrospective de programmes de recherches collaboratives en langues modernes à l'Université de Liège. *Recherches en Education, Hors Série*(1), 31- 46.
- Bednarz, N. (2004). Quelques réflexions sur l'apport du socioconstructivisme dans mon cheminement de chercheure et de formatrice. Dans P. Jonnaert & D. Masciotra (Éds.), *Constructivisme, choix contemporains* (pp. 165-175). Québec: Presses de l'Université de Québec.
- Bednarz, N. (2013a). À la rencontre entre deux préoccupations : vers la clarification d'un objet commun d'investigation. Dans N. Bednarz (Éd.), *Recherche collaborative et pratique enseignante : regarder ensemble autrement* (pp. 41-47). Paris - France: L'Harmattan.
- Bednarz, N. (2013b). Recherche collaborative en didactique des mathématiques. Une entrée avec les enseignants sur les questions de la profession. Dans A. Bronner, C. Bulf, C. Castela, J.-P. Georget, M. Larguier, B. Pedemonte, A. Pressiat & E. Roditi (Éds.), *Questions vives en didactique des mathématiques : problèmes de la profession d'enseignant, rôle du langage* (Vol. 1, pp. 121-170). Grenoble - France: La Pensée sauvage.
- Bednarz, N., Desgagné, S., Diallo, P. & Poirier, L. (2001). Approche collaborative de recherche. Une illustration en didactique des mathématiques. Dans P. Jonnaert & S. Laurin (Éds.), *Les didactiques des disciplines. Un débat contemporain* (pp. 177-207). Québec (QC): Presses de l'Université du Québec (PUQ).
- Bednarz, N., Poirier, L., Desgagné, S. & Couture, C. (2001). Conception de séquence d'enseignement en mathématique : une nécessaire prise en compte des praticiens. Dans A. Mercier, G. Lemoyne & A. Rouchier (Éds.), *Le génie didactique* (pp. 41-69). Bruxelles: De Boeck Université.
- Begin, R. (1997). Conception de la science et intervention pédagogique. *Spectre*, 26(2), 10-16.
- Beillerot, J. (2006). L'analyse des pratiques professionnelles, pourquoi cette expression ? *Cahiers pédagogiques*, 416. Repéré à <http://www.cahiers-pedagogiques.com/spip.php?article143>

- Belo, N. (2013). *Engaging students in the study of physics : an investigation of physics teachers' belief systems about teaching and learning physics - An investigation of physics teachers' belief systems about teaching and learning physics*. Rotterdam: Universiteit Leiden.
- Bessot, A. (2003). Une introduction à la théorie des situations didactiques. *Les cahiers du laboratoire Leibniz*, 91(octobre), 1-31. Repéré à <http://www-leibniz.imag.fr/LesCahiers/>
- Bisaut, J. (2005). Langage, action et apprentissage en sciences à l'école maternelle. *Spirale - revue des recherches en éducation*, 36, 123-138.
- Blais, M. & Martineau, R. (2006). L'analyse inductive générale : description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes. *Recherches Qualitatives*, 26(2), 1-18.
- Blaser, C. (2009). Le synopsis : un outil méthodologique pour comprendre la pratique enseignante. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, 12(1), 117-129.
- Bomchil, S. & Darley, B. (1998). L'enseignement de sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste? *ASTER*, 26(85-108).
- Bourassa, M., Bélair, L. & Chevalier, J. (2007). *Les outils de la recherche participative. Éducation et Francophonie* (Vol. 35 n°2). Québec: ACELF.
- Bressoux, P. (2001). Réflexions sur l'effet-maître et l'étude des pratiques enseignantes. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, vol 5 pp.35-52.
- Bressoux, P. (2002). *Les stratégies de l'enseignant en situation d'interaction*. Grenoble: École et Sciences Cognitives - Programme Cognitique. Repéré à <http://www.recherche.gouv.fr/recherche/aci/cognib.htm>, 2002. <edutice-00000286>
- Brickhouse, N. W. (1990). Teacher's beliefs about the nature of science and their relation to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, vol 41(n°3), pp.53-62.
- Brousseau, G. (1991). Utilité et Intérêt de la didactique. *Grand N*, 47, 93-114. Repéré à http://www-irem.ujf-grenoble.fr/revues/revue_n/fic/47/47n6.pdf

- Brousseau, G. (1996). L'enseignant dans la théorie des situations didactiques. Dans R. Noirfalise & M. J. Perrin-Glorian (Éds.), *Actes de la huitième école d'été de didactique des mathématiques* (pp. 3-46). Clermont-Ferrand: IREM.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques (Didactique des mathématiques 1970-1990)*. Grenoble: La pensée sauvage
- Brousseau, G. (2002). Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques. Repéré à <http://perso.orange.fr.daest/guy-brousseau>
- Bru, M. (2002). Pratiques enseignantes : des recherches à conforter et à développer. *Revue française de pédagogie*, vol 138, pp.63-73.
- Bunge, M. (1973). *The methodological unity of science*. Boston: Reidel Publishing Company.
- Bunge, M. (1983). *La investigación científica*. Barcelona: Ariel.
- Bunge, M. (2001). *La science, sa méthode et sa philosophie*. Paris: Vigdor.
- Buty, C., Tiberghien, A. & Le Maréchal, J.-F. (2004). Learning hypotheses and associated tools to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, XXVI(5), 579-604.
- Calmette, B. (2009). *Milieu didactique et démarche d'investigation en physique - Analyses de pratiques ordinaires*. Communication présentée au Actes du premier Colloque International de l'ARCD "Où va la didactique comparée?", Genève - Suisse.
- Cambrosio, A. (2013). *Le discours parallèle de l'image : entretien avec Alberto Cambrosio*. Dans B. Lamolet (Éd.), *Magazine de l'ACFAS : Découvrir : ACFAS*. Repéré à <http://www.acfas.ca/publications/decouvrir/2013/02/discours-parallele-l-image-entretien-avec-alberto-cambrosio>
- Cariou, J.-Y. (2004). La formation de l'esprit scientifique - trois axes théoriques, un outil pratique : DiPHTeRIC. *Sciences et pseudo-sciences*, 263(Juillet-août), 1-37.
- Catterall, M. & Maclaran, P. (1997). Focus group data and qualitative analysis programs *Sociological Research*, 2(1).

- Chalmers, A. F. (1987). *Qu'est-ce que la science?* Paris: La découverte.
- Chanier, T. & Cartier, J. (2006). Communauté d'apprentissage et communauté de pratique en ligne : le processus réflexif dans la formation des formateurs. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, 3(3), 64-82. Repéré à <http://www.profetic.org/revue>
- Charland, J.-P. (2005). *Histoire de l'Éducation au Québec - De l'ombre du clocher à l'économie de savoir*. Saint-Laurent (QC): Éditions du Renouveau Pédagogiques (ERPI).
- Charmaz, K. (2004). Premises, Principles, and Practices in Qualitative Research: Revisiting the Foundations. *Qualitative Health Research*, 14(7), 976-993. doi: 10.1177/1049732304266795
- Cheng, M. F. & Brown, D. E. (2010). Conceptual Resources in Self - developed Explanatory Models: The importance of integrating conscious and intuitive knowledge. *International Journal of Science Education*, 32(17), 2367-2392. doi: 10.1080/09500690903575755
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique*. Grenoble - France: La pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *RDM, Recherches en Didactique des Mathématiques*, 12(1), 73-112.
- Chevigny, É. (2009). Faire des sciences, quels enjeux? *Cahiers Pédagogiques*, 469. Repéré à <http://www.cahiers-pedagogiques.com/spip.php?article4174>
- Chomat, A., Larcher, C. & Méheut, M. (1988). Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième. *ASTER*, 7, 143-184.
- Chomat, A., Larcher, C. & Méheut, M. (1992). Modèle particulière et démarche de modélisation. Dans INRP (Éd.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 119-170). Tours: INRP/LIREST.
- Chouinard, R. (1999). Enseignants débutants et pratiques de gestion de classe *Revue des sciences de l'éducation*, 25(3), 497-514. Repéré à <http://www.erudit.org/revue/RSE/1999/v25/n3/032011ar.pdf>

- Christidou, V. (2011). Interest, attitudes and images related to science: Combining students' voices with the voices of school science, teachers, and popular science. . *International Journal of Environmental and Science Education*, 6, 141-159.
- Christophilis, T. & Kousathana, M. (2005). *Models in Science Teaching*. Repéré à http://www.ihpst2005.leeds.ac.uk/papers/Christofilis_Kousathana.pdf
- Cissé, I. (2007). Approche méthodologique pour la construction de l'unité de quantité de matière à partir d'une situation problème : expérience de la FASTEF au Sénégal. *Revue Internationale Francophone*, 10.
- Clement, J. (1989). Learning via Model Construction and Criticism. Dans G. Glover, R. Ronning & C. Reynolds (Éds.), *Handbook of Creativity, Assessment, Theory and Research*. New-York: Plenum.
- Clement, J. & Steinberg, M. S. (2002). Step-Wise Evolution of Mental Models of Electric Circuits: A "Learning-Aloud" Case Study. *Journal of the Learning Sciences*, 11(4), 389-452. Repéré à <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eric&AN=EJ656409&site=ehost-live>
- Coban, G. U. (2010). The scientific understanding level of prospective science teachers *Journal of Baltic Science Education*, 9(3), 237-254. Repéré à <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=56471321&site=ehost-live>
- Cochran-Smith, M. & Lytle, S. L. (1993). *Inside/outside : Teacher research and knowledge*. New-York (NY): Columbia University Press.
- Comiti, C. & Grenier, D. (1997). Régulations didactiques et changements de contrats. *RDM, Recherches en Didactique des Mathématiques*, 17(3), 81-102.
- Constantinou, C. P. (1999). The cocoa microworld as an environment for developing modelling skills in physical science. *International Journal of Continuing Education and Life-long Learning*, 9(201-213), 201-213.
- Coulin-Talabot, F. & Zahnd, L. (2012). Peut-on accéder à la réalité sans modèle? Quels liens entre la réalité, le modèle et la connaissance ? Dans R. Kopp & F. Lombard (Éds.), *La modélisation en biologie, comment la traiter en classe?* (pp. 37-41).

- Couture, C. (2002). *Étude du processus de co-construction d'une intervention en sciences de la nature au primaire par une collaboration praticien-chercheur*. UQAC-UQAM, Chicoutimi.
- Couture, C. (2005). Repenser l'apprentissage et l'enseignement des sciences à l'école primaire : une coconstruction entre chercheurs et praticiens. *Revue des sciences de l'éducation*, 31(2), 317-333.
- Couture, C. (2015). Collaborer pour ajuster les pratiques d'enseignement des sciences et de la technologie à l'élémentaire : vers une didactique plus intégrative. Dans G. Samson, C. Couture & S. Ndella (Éds.), *Recherche participative & didactique pour les enseignants. Perspectives croisées en Science & Technologie*. Nice: Leseditionssoviadia.
- Couture, C., Dionne, L., Savoie-Zajc, L. & Aurousseau, E. (2012). Ajustements de pratique d'enseignants de l'élémentaire en sciences et technologie. *Formation et profession*, 20(3), 13. Repéré à http://formation-profession.org/files/numeros/3/v20_n03_140.pdf
- Couture, C., Dionne, L., Savoie-Zajc, L. & Aurousseau, E. (2015). Développer des pratiques d'enseignement des sciences et des technologies : selon quels critères et dans quelles perspectives? *RDST, Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 11, 109-132.
- Crawford, B. A. & Cullin, M. J. (2004). Supporting Prospective Teachers' Conceptions of Modelling in Science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379-1401. doi: 10.1080/09500690410001673775
- Crozier, M. & Friedberg, E. (1977). *L'acteur et le système - Les contraintes de l'action collective*. Paris: Édition du Seuil.
- Cyr, M.-D. & Verreault, J.-S. (2008). *Observatoire - L'environnement* (Vol. Cahier d'activités - 2e année du 2e cycle du secondaire). ERPI.
- Cyr, M.-D., Verreault, J.-S. & Forget, D. (2008). *Observatoire - L'environnement* (2e Vol. Manuel de l'élève - 2e année du 2e cycle du secondaire). Québec: ERPI.
- Da Silva, V. A. (2004). *Savoirs quotidiens et Savoirs scientifiques - L'élève entre deux mondes*. Paris: Anthropos.
- Dagher, Z. R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78(6), 601. Repéré à

<http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=9501312639&login.asp&lang=fr&site=ehost-live>

- Dagher, Z. R. (1995). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science Education*, 79(3), 295. Repéré à <http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=9507271544&login.asp&lang=fr&site=ehost-live>
- Dahmani, H.-R. & Schneeberger, P. (2011). Enseigner le concept d'ADN en lien avec la démarche historique : un processus de modélisation négociée. *RDST, Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 3, 55-82.
- Danusso, L., Testa, I. & Vicentini, M. (2010). Improving Prospective Teachers' Knowledge about Scientific Models and Modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871-905. doi: 10.1080/09500690902833221
- Davister, C. (2004). Les groupes focalisés. *Appui en Promotion et Education pour la Santé*
Service Communautaire de Promotion de la Santé (APES) - ULg - Stop j'agis. Repéré à http://www.apes.be/documentstelechargeables/Pdf/fich_12728.pdf
- De Ketele, J. M., Chastrette, M., Cros, D., Mettelin, P. & Thomas, J. (1988). *Guide du formateur*. Bruxelles: De Boeck Université.
- Deaudelin, C., Lefebvre, S., Brodeur, M., Mercier, J., Dussault, M. & Richer, J. (2005). Évolution des pratiques et des conceptions de l'enseignement, de l'apprentissage et des TIC chez des enseignants du primaire en contexte de développement professionnel. *Revue des sciences de l'éducation*, 31(1), 70-110. Repéré à <http://id.erudit.org/iderudit/012359ar>
- Defise, R. (2016, 9 décembre 2016). *Focus Group*. Communication présentée au Conférence de R. Defise : Focus Group, Université du Québec à Montréal.
- Dehon, A. & Derobertmasure, A. (2015). Entre pratiques effectives et pratiques déclarées : un cadre d'analyse. *Éducation & Formation*, e - 303(Juillet). Repéré à http://www.researchgate.net/publication/282074129_Entre_pratiques_effectives_et_pratiques_declarees_un_cadre_d%27analyse
- Dekens, O. (2004). *Lexique des repères philosophiques*. Paris: Broché.

- Denzin, N. K. (1988). Triangulation. Dans J. P. Keeves (Éd.), *Educational research methodology*. Oxford: Pergamon Press.
- Désautels, J. & Larochelle, M. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique - Points de vue d'adolescents et d'adolescentes*. Québec: Presses de l'Université Laval.
- Desgagné, S. (1997). Le concept de recherche collaborative : l'idée d'un rapprochement entre chercheurs universitaires et praticiens enseignants. *Revue des sciences de l'éducation*, 23(2), 371-393.
- Desgagné, S. (1998). La position du chercheur en recherche collaborative : illustration d'une démarche de médiation entre culture universitaire et culture scolaire. *Recherches qualitatives*, 18, 77-105.
- Desgagné, S. (2001). La recherche collaborative : nouvelle dynamique de recherche en éducation. Dans M. Anadón & M. L'Hostie (Éds.), *Nouvelles dynamiques de recherche en éducation* (pp. 51-76). Sainte-Foy: Presses de l'Université de Laval.
- Desgagné, S. (2007). Le défi de coproduction de "savoir" en recherche collaborative. Autour d'une démarche de reconstruction et d'analyse de récits de pratique enseignante. Dans M. Anadón (Éd.), *La recherche participative* (pp. 89-121). Québec: PUQ.
- Desgagné, S. & Bednarz, N. (2005). Médiation entre recherche et pratique en éducation : faire de la recherche avec plutôt que sur les praticiens. *Revue des sciences de l'éducation*, 31(2), 245-248.
- Desgagné, S., Bednarz, N., Couture, C., Poirier, L. & Lebuis, P. (2001). L'approche collaborative de recherche en éducation : un rapport nouveau à établir entre recherche et formation. *Revue des sciences de l'éducation*, XXVII(1), 33-64.
- Deslauriers, J.-P. (1991). *Recherche qualitative : guide pratique*. Montréal: McGraw-Hill.
- Dionne, L. & Couture, C. (2010). *La formation et le développement professionnel des enseignants en sciences, technologie et mathématiques*. Ottawa: Les Presses de l'Université d'Ottawa.
- Doerr, H. M. (1996). Integrating the Study of Trigonometry ,Vectors, and Force Through Modeling. *School Science and Mathematics*, 96(8), 407-418.

- Dolbec, A. & Clément, J. (2004). La recherche-action. Dans *La recherche en éducation : étapes et approches* (3). Sherbrooke: Éditions du CRP, Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke.
- Dolz, J., Ronveaux, C. & Schneuwly, B. (2006). Le synopsis : un outil pour analyser les objets enseignés. Dans M. J. Perrin-Glorian & Y. Reuter (Éds.), *Les méthodes de recherche en didactiques*. Villeneuve d'Ascq: Presses universitaires du Septentrion.
- Dorier, J.-L. & Burgermeister, P.-F. (2013). La modelisation dans l'enseignement des mathématiques en suisse romande. *petit x*, 91, 5-24. Repéré à <http://www.unige.ch/primas/images/materiel/Burgermeister-Dorier-Petitx.pdf>
- Doucet, P., Langelier, E. & Samson, G. (2007). Une démarche de conception en sept étapes - Première partie : la conception. *SPECTRE*, vol 36 (n°4), pp.18-24.
- Drouin, A.-M. (1988). Le modèle en question. *ASTER*, 7, 1-20.
- Dubet, F. (1994). *Sociologie de l'expérience*. Paris: Seuil.
- Dubois, D. (2008). Sens communs et sens commun : Expériences sensibles, connaissance (s) ou doxa ? . *Langages*, 170(2), 41-53. Repéré à <http://www.cairn.info/revue-langages-2008-2-page-41.htm>.
- Dumez, H. (2010). Éléments pour une épistémologie de la recherche qualitative en gestion. Ou que répondre à la question : « quelle est votre posture épistémologique ? ». *Le Libellio d'AEGIS*, 6(4), 3-16.
- Dumon, A. & Laugier, A. (2004). L'équation de réaction : approche historique et didactique de la modélisation de la transformation chimique. *Bulletin de l'union des physiciens*, vol 866, pp.1131-1144.
- Dupin, J.-J. (1995). Modèles et modélisation dans l'enseignement - Quelques contraintes didactiques. Dans *Actes de la VIIIe École d'Été de Didactique des Mathématiques*.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Berne: Peter Lang.
- É-U. American Association for the Advancement of Science. (2013). Project 2061 - A long-term research and development initiative focused on improving science education so that all Americans can become literate in science,

mathematics, and technology. Repéré le 21 février, à <http://www.project2061.org/>

- El Fadil, B. & Hasni, A. (2016). *La démarche de conception technologique dans les pratiques déclarées d'enseignants du secondaire: modalités de mise en œuvre, visées et défis*. Communication présentée au 84e congrès de l'ACFAS Université du Québec à Montréal UQAM - Montréal (QC).
- Erickson, G., Farr Darling, L., Clarke, A. M. & Mitchell, J. (2004). Création d'une communauté réflexive dans un programme de formation à l'enseignement. Dans P. Joannert & D. Masciotra (Éds.), *Constructivisme, choix contemporains - Hommage à Ernst Glaserfeld*. Sainte-Foy (QC) Canada: Presses de l'Université du Québec.
- Fabre, M. (1999). *Situations-problèmes et savoirs scolaires*. Paris: Presses universitaires de France - PUF.
- Faerber, R. (2004). Caractérisation des situations d'apprentissage en groupe. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (sticf)*, 11, 1-28. Repéré à http://sticf.univ-lemans.fr/num/vol2004/faerber-07/sticf_2004_faerber_07.pdf
- Falardeau, E. & Simard, D. (2011). L'étude du rapport à la culture dans les pratiques enseignantes : le synopsis comme outil de réduction et d'organisation des données. *Recherches Qualitatives*, 30(2), 96-121.
- Fenstermacher, G. D. (1987). Prologue to my critics, and reply to my critics. *Educational theory*, n°37, pp. 357-360.
- Ferraro, J. M. (2000). Reflective practice and professional development. *Clearinghouse on Teaching and Teacher Education*.
- Fillon, P. (1997). Des élèves dans un labyrinthe d'obstacles. *Aster*, 25(113-141).
- Fischbein, E. (1978). Schèmes virtuels et schèmes actifs dans l'apprentissage des sciences. *Revue française de pédagogie*, vol 45 (oct-nov-déc), pp.119-125.
- Fontaine, S., Kane, R. G., Duquette, O. & Savoie-Zajc, L. (2012). New teacher's career intentions : Factors influencing new-teachers' decision to stay or to leave the profession. *Alberta Journal of Educationnal Research*, 57(4), 379-408.

- Forest, D. (2008). Agencements didactiques : pour une analyse fonctionnelle du comportement non-verbal du professeur. *Revue française de pédagogie*, 165(Octobre-décembre), 77-89. Repéré à <https://rfp.revues.org/1108?lang=en>
- Formarier, M., Poirier Coutansais, G. & Psiuk, T. (1999). Les concepts organisateurs de la science leur application aux soins infirmiers. *Recherche en soins infirmiers*, 58, 6-18.
- Fourez, G. (2009). *Apprivoiser l'épistémologie* (3). Bruxelles: De Boeck.
- Franske, B. J. (2009). *Engineering problem finding in high school students*. University of minnesota, San Francisco, California, 94105, USA.
- Friedrichsen, P., van Driel, J. H. & Abell, S. K. (2011). Taking a closer look at science teaching orientations. *Science Education*, 95(2), 358-376. Repéré à 10.1002/sce.20428
<http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=57983952&login.asp&site=ehost-live>
- Gagné, B. (1994). Autour de l'idée d'histoire des sciences : représentations discursives d'apprenti(e)s-enseignant(e)s de sciences. *Didaskalia*, n°3, pp.61-78.
- Gallagher, J. J. (1991). Prospective and practicing secondary school science teacher's knowledge and beliefs about the philosophy of science. *Science Education*, vol 75 (n°1), pp.121-133.
- Gauthier, D. (1998). *La modélisation mathématique dans l'enseignement de la chimie des gaz à des élèves de la cinquième année du secondaire*. (Doctorat). Université de Montréal, Montréal.
- Gendreau-Massaloux, M. & Léna, P. (2000). Éducation et Science. *La science pour le XXIème siècle : un nouvel engagement*, 2, 6-13.
- Gentner, D. & Stevens, A. L. (1983). *Mental Models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Genzling, J.-C. & Pierrard, M.-A. (1994). La modélisation, la description, la conceptualisation, l'explication et la prédiction. Dans INRP (Éd.), *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation* (pp. 47-78). Paris: INRP/LIREST.

- Germain, C. & Netten, J. (2008). *Stratégies d'enseignement de la communication à l'oral en langue seconde ou étrangère*. Communication présentée au XII^e Congrès mondial de la FIPF (Fédération Internationale des Professeurs de Français), Québec.
- Gervais, C. (2007). Le choix d'une approche pour l'étude empirique de pratiques enseignantes. *Formation et profession*, vol 13 (n°1), pp.29-32.
- Giere, R. N. (1992). Cognitive Models of Science. *Minnesota studies in the Philosophy of science*, XV. Repéré à http://mcps.umn.edu/assets/pdf/15Intro_CogModels.pdf
- Giere, R. N. (1994). The Cognitive Structure of Scientific Theories. *Philosophy of Science*, 61, 276-296.
- Gilbert, J. K. (1991). Model Building and a Definition of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73-79.
- Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (2000). *Developing Models in science Education*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. K., De Jong, O., Justi, R. S., Treagust, D. F. & van Driel, J. H. (2004). Chemical Education: Towards Research-Based Practice. *Science Teacher*, 71(9), 82-84. Repéré à <http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=15015666&login.asp&site=ehost-live>
- Gilles, I. & Bergeron, D. (2003). *La vie, un équilibre à maintenir : biologie générale : 4e et 5e secondaire* (2e). Montréal: Lidec.
- Giordan, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris: Belin.
- Giordan, A. & De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoirs*. Paris: Delachaux & Niestlé.
- Giordan, A. & Pellaud, F. (1999). État de l'enseignement des sciences. Repéré à http://www.ldes.unige.ch/publi/vulg/CEU_99/CEUAG_FP.htm
- Glock, H.-J. (2004). *Dictionnaire Wittgenstein*. Paris: Gallimard.
- Goffard, M. & Dumas-Carré, A. (2005). *Enseigner et apprendre les sciences : recherches et pratiques*. Paris: Armand Colin.

- Gohau, G. (1987). Difficultés d'une pédagogie de la découverte dans l'enseignement des sciences. *Aster*, 5, 49-70.
- Gohier, C. (2004). De la démarcation entre critères d'ordre scientifique et d'ordre éthique en recherche interprétative. *Recherches qualitatives*, 2009-Gohier24(3-17). Repéré à http://www.recherche-qualitative.qc.ca/documents/files/revue/edition_reguliere/numero24/24gohier.pdf
- Goujon, C. (2014). Travail conjoint entre un intervenant extérieur scientifique, un professeur des écoles et ses élèves. *Cahiers de la recherche et du développement. ARDIST, 8e rencontres scientifiques, Mars 2014, Marseille, France*, 18(1), 225-234. Repéré à <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01061937/document>
- Goujon, C., Boilevin, J.-M., Gueudet, G. & Sensevy, G. (2015). Travail conjoint entre un médiateur scientifique, un professeur des écoles et ses élèves. *Educational Journal of the University of Patras - UNESCO Chair - University of Patras*, 2, 58-73.
- Govers, P. & Absil, G. (2010). *Initiation à la collecte de données par groupe focalisé*. Communication présentée au Initiation à la collecte de données par groupe focalisé. Repéré à <http://www.apes.be/documentstelechargeables/powerpoint/PPT Module 2.pdf>
- Goyer, C. (2007). *Identités professionnelles d'acteurs de l'enseignement : regard croisés*. Québec: Presse de l'Université du Québec (PUQ).
- Grandy, E. (2003). What Are Models and Why Do We Need Them? *Science & Education*, 12(8), 773-777.
- Greca, I. & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, vol 22 (n°1), pp.1-11.
- Guichard, J. (1994). Réactions à propos de la modélisation. Dans J.-L. Martinand (Éd.), *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 79-84). Paris: INRP.
- Guilbert, L. & Méloche, D. (1993). L'idée de science chez des enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions? *Didaskalia*, n° 2 pp.7 - 30.

- Halbwachs, F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Neuchâtel - Suisse: Delachaux & Niestlé,.
- Halbwachs, F. (1975). La physique du maître entre la physique du physicien et la physique de l'élève. *Revue française de pédagogie*, 33, 19-29. Repéré à http://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_1975_num_33_1_1608
- Haller, S., Jacquin, M., Schneuwly, B. & Ronveaux, C. (2005). *Rédiger le synopsis d'une séquence d'enseignement - Guide méthodologique* [Version provisoire non publiée]. Repéré
- Halloun, I. A. (2004). *Modeling theory for paradigmatic evolution*. Communication présentée au 12th annual meeting of the Southern African Association for Research in Mathematics, Science and Technology Education, Cape Town, South Africa.
- Halloun, I. A. (2007). Mediated Modeling in Science Education. *Science & Education*, 16(7-8), 653-697. doi: 10.1007/s11191-006-9004-3
- Halloun, I. A. & Hestenes, D. (1987). Modeling instruction in mechanics. *American Journal of Physics*, 55(5), 455-462.
- Hansen, J. A., Barnett, M., Makinster, J. G. & Keating, T. (2004). The Impact of Three-Dimensional Computational Modeling on Student Understanding of Astronomical Concepts: A Quantitative Analysis. *International Journal of Science Education*, vol 26 (n°11), pp.1365-1378.
- Harrison, A. G. & Coll, R. K. (2008). *Using analogies in middle and secondary science classrooms - The FAR guide - An interesting way to teach with analogies*. Thousand Oaks - Ca - USA: Corwin Press.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (1994). Science analogies. *Science Teacher*, 61(4), 40. Repéré à <http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=9404291371&login.asp&site=ehost-live>
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000a). Learning about Atoms, Molecules, and Chemical Bonds: A Case Study of Multiple-Model Use in Grade. *Science Education*, 84(3), 352. Repéré à <http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=3041936&login.asp&site=ehost-live>

- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000b). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026. Repéré à 10.1080/095006900416884
<http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=4106705&login.asp&site=ehost-live>
- Hasni, A. (2001). *Les représentations sociales d'une discipline scolaire - l'activité scientifique et sa place au sein des autres disciplines formant le curriculum chez les instituteurs marocains*. (Thèse de Doctorat). Université de Sherbrooke, Sherbrooke.
- Hasni, A. (2010). Modèles et modélisation en enseignement scientifique : quelques aspects prioritaires à considérer. *SPECTRE*, 40(1), 10-11.
- Hasni, A., Lenoir, Y. & Larose, F. (2005-2008). *Conceptualisation et modélisation en sciences : représentations et pratiques d'enseignantes et d'enseignants du primaire et du premier cycle du secondaire au Québec*. Université de Sherbrooke: Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (CRSH).
- Hasni, A., Potvin, P., Belletête, V. & Thibault, F. (2015). *L'intérêt pour les sciences et la technologie à l'école - Résultats d'une enquête auprès d'élèves du primaire et du secondaire au Québec*. : CRIJEST. Repéré à <http://www.crijest.org/sites/crijest.org/files/Hasni-Potvin-Rapport-CRIJEST-2015-VF.pdf>
- Hasni, A. & Samson, G. (2007). Développer les compétences en gardant le cap sur les savoirs. Première partie : la place de la problématisation dans les démarches à caractères scientifiques *Spectre*, 37(2), 26-29.
- Hasni, A. & Samson, G. (2008). Développer les compétences en gardant le cap sur les savoirs. Deuxième partie : la diversité des démarches à caractères scientifiques et leurs liens avec les savoirs disciplinaires. *Spectre*, 37(3), 22-25. .
- Henze, I., van Driel, J. H. & Verloop, N. (2007). The Change of Science Teachers' Personal Knowledge about Teaching Models and Modelling in the Context of Science Education Reform. *International Journal of Science Education*, 29(15), 1819-1846. doi: 10.1080/09500690601052628
- Hesse, J. & Anderson, C. (1992). Student's conception of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 277-299.

- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physique*, 55(5), 440-454.
- Hestenes, D. (1992). Modeling games in the newtonian world. *American Journal of Physics*, 60(8), 732-748
- Huddle, P. A. & Pillay, A. E. (1996). An In-depth Study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South Africa University. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 65-77.
- Hulin, M. (1992). *Le mirage et la nécessité : pour une redéfinition de la formation scientifique de base*. Paris: Rue d'Ulm.
- Inchauspé, P. (2005). La place des sciences dans le programme de formation. *SPECTRE*, vol 35 (n°1), pp.6-12.
- Jaubert, M. & Rebière, M. (2000). *Le rôle des pratiques langagières dans la construction de savoirs en biologie - Comment permettre aux élèves d'entrer dans une communauté discursive scientifique scolaire*. Paris: INRP.
- Jimenez-Valladares, J. D. D. & Perales-Palacios, F. J. (2002). Modélisation et représentation graphique de concepts. *Bulletin de l'union des physiciens*, 96(Février), 397-417.
- Johsua, S. & Dupin, J. J. (1989). *Représentations et Modélisations: Le débat scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne: Peter Lang.
- Johsua, S. & Dupin, J. J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: Presses Universitaires de France - PUF.
- Jonassen, D. (1997). Instructional design models for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 45(1), 65-94.
- Jonassen, D. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 48(4), 63-85.
- Jonassen, D., Strobel, J. & Lee, C. (2006). Everyday problem solving in engineering: Lessons for engineering educators. *Educational Technology Research and Development*, 95(2), 139-151.

- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009. Repéré à 10.1080/095006900416875
<http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=4106706&login.asp&lang=fr&site=ehost-live>
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002a). Modelling, teachers'view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002b). Science teachers' knowledge about attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1273-1292.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386. Repéré à <http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=11842192&login.asp&lang=fr&site=ehost-live>
- Justi, R. S. & van Driel, J. H. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27(5), 549-573. doi: 10.1080/0950069042000323773
- Kant, E. (1886). *Critique de la raison pure*. Paris: Flammarion. (1787). Repéré à <http://booksnow1.scholarsportal.info/ebooks/oca5/26/critiquedelarais01kant/critiquedelarais01kant.pdf>
- Kant, E. (2012). *Critique de la raison pure* (8). Paris: Presses universitaires de France.
- Kapala, F. (2010, 24-25 novembre). *Investigation, épistémologie et auto-didactique - Mise en évidence de la nature du couplage épistémologie-didactique dans la justification du pilotage des démarches d'enseignement chez des enseignants du premier degré en formation initiale*. Communication présentée au Journées Démarches d'investigation pour l'enseignement des sciences (DIES), Lyon, France.
- Karsenti, T. & Savoie-Zajc, L. (2004). *La recherche en éducation : étapes et approches* (3). Sherbrooke: Éditions du CRP, Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke.

- Keating, T., Barnett, M., Barab, S. A. & Hay, K. E. (2002). The Virtual Solar System Project: Developing Conceptual Understanding of Astronomical Concepts through Building Three-Dimensional Computational Models. *Journal of Science Education and Technology*, vol 11 (n°3), pp.261-275.
- Kitzinger, J. (2004). Le sable dans l'huître : analyser des discussions de *focus group*. *Bulletin de psychologie*, 57(3), 299-307.
- Koutani, S. (2004). Réconcilier les élèves avec les sciences... *Cahier Pédagogiques*, 427, 65-66.
- Krapp, A. & Prenzel, M. (2011). Research on interest in science: Theories, methods, and findings. *International Journal of Science Education*, 33(1), 27-50.
- Kuhn, T. (1970). *La structure des révolutions scientifiques* (2). Paris: Flammarion.
- L'Écuyer, R. (1987). L'analyse de contenu : notion et étapes. Dans J.-P. Deslauriers (Éd.), *Les méthodes de la recherche qualitative* (pp. 49-64). Sillery: Presses de l'Université du Québec.
- Lafortune, L. (2008). *Un modèle d'accompagnement professionnel d'un changement: Pour un leadership novateur*. Repéré à https://play.google.com/books/reader?id=D5gOco_0HlMC&printsec=frontcover&output=reader&authuser=0&hl=fr&pg=GBS.PP2
- Lafortune, L. & Deaudelin, C. (2001). *Accompagnement socioconstructiviste*. Sainte-Foy: PUQ.
- Lalande, A. (2011). *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*. Paris: Presses universitaires de France.
- Langevin, P. (1933). *La notion de corpuscule et d'atomes*. Paris: Hermann et Cie - Gallica : Bibliothèque nationale de France - BNF. Repéré à <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k38120d/f1.image>
- Laperrière, A. (1997). Les critères de scientificité des méthodes qualitatives. Dans J. Poupart (Éd.), *La recherche qualitative. Enjeux épistémologiques et méthodologiques* (pp. 365-390). Sainte-Foy: Presses de l'Université du Québec.

- Laperrière, A. (2009). L'observation directe. Dans B. Gauthier (Éd.), *Recherche sociale - De la problématique à la collecte des données* (5, pp. 311-336). Boisbriand, QC: Presse de l'Université du Québec.
- Lapointe, Y. (2010). La modélisation comme outil d'enseignement et d'apprentissage en classe de physique. *SPECTRE*, 40 (1), 16-18.
- Larcher, C. (1994). Étude comparative de démarches de modélisation - Quelles sont les caractéristiques des démarches de modélisation? Dans INRP (Éd.), *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation*. (pp. 9-24). Paris: INRP/LIREST.
- Larcher, C. (1996). La physique et la chimie, sciences de modèles. Du monde réel aux connaissances scientifiques, en passant par la modélisation. Dans J. Toussaint (Éd.), *Didactique appliquée de la physique et de la chimie - Éléments de formation pour l'enseignement* (pp. 160-178). Paris: Nathan Pédagogie.
- Larcher, C. & Peterfalvi, B. (2006). Diversification des démarches pédagogiques en classe de sciences. *Bulletin de l'union des physiciens*, 100 (Juillet, août, septembre), 825-866.
- Larivée, S., Larose, F. & Terrisse, B. (2005). La réforme de l'éducation au primaire: enjeux psychopédagogique et organisationnels. Dans Y. Lenoir, F. Larose & C. Lessard (Éds.), *Le curriculum de l'enseignement primaire: regards critiques sur ses fondements et ses lignes directrices* (pp. 201-221). Sherbrook: éditions du CRP.
- Laroche, M. & Désautels, J. (1992). *Autour de l'idée de sciences*. Sainte-Foy: Les presses de l'Université Laval.
- Larouche, H. (2005). Le double rôle de formatrice et de chercheuse : un point de rencontre pour concilier les besoins de la pratique et de la recherche. *Revue des sciences de l'éducation*, 31(2), 332-354.
- Larousse (Éd.) (2010). Paris: Larousse.
- Laugier, A. & Dumon, A. (2004a). L'équation de réaction : un nœud d'obstacles difficilement franchissables ? *Chemistry Education : research and Practice*, vol 5 (n°1), pp.51-68.

- Laugier, A. & Dumon, A. (2004b). Mise en place de situations problèmes pour l'apprentissage de la stœchiométrie en classe de seconde : compte rendu d'innovation. *Didaskalia*, 25, 117-141.
- Laugier, A. & Dumont, A. (2003). Obstacles épistémologiques à la construction du concept d'élément chimique : quelles convergences? *Didaskalia*, n°22, p.69-95.
- Le Boterf, G. (2000). *Construire les compétences individuelles et collectives*. Paris: Éditions d'organisation.
- Le Hénaff, C. (2010, 3-6 février 2010). *La mise en œuvre préalable à la construction collaborative d'une séquence d'anglais à l'école élémentaire*. Communication présentée au CiDd : II congrès International de DIDACTIQUES - L'activité de l'enseignant : Intervention, Innovation, Recherche, Girona (Espagne). Repéré à <http://www.udg.edu/portals/3/didactiques2010/guiacdii/ACABADES/FINALS/247.pdf>
- Le Moigne, J.-L. (1990). *La modélisation des systèmes complexes*. Paris: Dunod.
- Lebeaume, J. (2010). La modélisation en technologie : des propositions pour l'enseignement et un chantier pour la recherche. *SPECTRE*, 40(1), 30-33.
- Leclerc, C., Bourassa, B., Picard, F. & Courcy, F. (2011). Du groupe focalisé à la recherche collaborative : avantages, défis et stratégies. *Recherhces Qualitatives*, 29(3), 145-167.
- Lecourt, D. (2008). *La philosophie des sciences* (4). Paris: PUF.
- Lederman, N. G. (1992). Student's and teacher's conceptions of the nature of science : a review of the research. *Journal of Research in Science teaching*, vol 29 (n°4), pp.332-359.
- Lee, H. & Witz, K. G. (2009). Science Teachers' Inspiration for Teaching Socio - scientific Issues: Disconnection with reform efforts. *International Journal of Science Education*, 31(7), 931-960. doi: 10.1080/09500690801898903
- Lee, J. A. (1994). *The empowerment approach to social work practice*. New York : Columbia University Press.

- Legay, J. M. (1997). *L'expérience et le modèle: Un discours sur la méthode*. Paris: INRA.
- Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. (1992). L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie. Dans INRP (Éd.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 171-232): INRP/LIREST.
- Lenoir, Y. (2014). *Réfléchir dans et sur sa pratique, une nécessité indispensable Outil n° 1*. Sherbrooke: Université de Sherbrooke. Repéré à http://www.usherbrooke.ca/creas/fileadmin/sites/creas/documents/Publications/Destinees_aux_professionnels/Analyse_re_flexive-Outill_Lenoir.pdf
- Lhoste, Y. (2008). Problématisation & Apprentissage en SVT - L'analyse épistémologique de l'activité scientifique pour comprendre ce qui se joue dans le cours de SVT. Dans Y. LHoste (Éd.), *Problématisation & apprentissage en sciences de la vie et de la Terre* (pp. 9-12). Caen, France: IUFM de Basse Normandie - Université de Caen Repéré à <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01198460/document>
- Lhoste, Y., Boiron, V., Jaubert, M., Orange, C. & Rebière, M. (2011). Le récit : un outil pour prendre en compte le temps et l'espace dans des explications biologiques et pour construire des savoirs en sciences ? . *Revue de Didactique des Sciences et des Technologies (RDST)*, 4, 57-81.
- Lhoste, Y., Peterfalvi, B. & Orange, C. (2007). *Problématisation et construction de savoir en SVT : quelques questions théoriques et méthodologiques*. Communication présentée au Actualité de la recherche en Éducation et en Formation, Strasbourg.
- Lien Do, K. (2003). *L'exploration du dialogue de Bohm comme approche d'apprentissage : une recherche collaborative*. (Doctorat). Université Laval, Québec.
- Livi, A. (2004). *Philosophie du sens commun*. Lausanne, Suisse: L'Âge d'Homme.
- Malafosse, D. & Lerouge, A. (2000). Ruptures et continuités entre physique et mathématiques à propos de la caractéristique des dipôles électriques linéaires. *ASTER*, 30, 65-85.
- Malkoun, L. (2007). *De la caractérisation des pratiques de classes de physique à leur relation aux performances des élèves : étude de cas en France et au Liban*.

Université Lyon 2, Lyon. Repéré à http://theses.univ-lyon2.fr/documents/lyon2/2007/malkoun_1 - p=0&a=top

- Marcel, J. F. (2002). Le concept de contextualisation : un instrument pour l'étude des pratiques enseignantes. *Revue française de pédagogie*, 138 (Recherches sur les pratiques d'enseignement et de formation), 103-113. doi: 10.3406/rfp.2002.2868
- Marois, P. (1997). *L'école, tout un programme - Énoncé de politique éducative*. Québec (QC): Gouvernement du Québec. Ministère de l'Éducation.
- Martel, V. (2007). L'inédite portée de la méthodologie qualitative en sciences de l'éducation : réflexion sur les défis de l'observation et de l'analyse de la vie cognitive de jeunes apprenants. *Recherches Qualitatives, Hors série*(3), 440-460.
- Martinand, J.-L. (1992a). *Organisation et mise en œuvre des contenus d'enseignement*. Communication présentée au Recherches en didactiques : contribution à la formation des maîtres, Paris : Éditions Jacques Colomb.
- Martinand, J.-L. (1992b). Présentation. Dans INRP (Éd.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 7-22). Tours: INRP/LIREST.
- Martinand, J.-L. (1994a). La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants. *Aster*, 19, 61-74.
- Martinand, J.-L. (1994b). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: INRP/LIREST.
- Martinand, J.-L. (1994c). Quels enseignements peut-on tirer des travaux dans la perspectives du développement de curriculum. Dans INRP (Éd.), *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation* (pp. 115-125). Paris: INRP/LIREST.
- Martinand, J.-L. (1995). Introduction à la modélisation. Dans *Didactique des disciplines techniques* (pp. 126-138). Cachan: ENS Cachan, LIREST.
- Martinand, J.-L. (2010a). Introduction à la modélisation. Repéré à <http://www.inrp.fr/Tecne/Rencontre/Univete/Tic/Pdf/Modelisa.pdf>

- Martinand, J.-L. (2010b). Schémas didactiques pour la modélisation en sciences et technologies. *SPECTRE*, 40(1), 20-24.
- Martineau, S. (2005). L'observation en situation : enjeux, possibilités et limites *Recherches Qualitatives, Hors Série*(2), 5-17.
- Mathy, P. (1997). *Donner du sens aux cours de sciences. Des outils pour la formation éthique et épistémologique des enseignants*. Paris - France: De Boeck et Larcier.
- Maubant, P. (2007). L'analyse des pratiques enseignantes : les ambiguïtés d'un bel objet de recherche. *Formation et profession*, vol 13 (n°1), pp.17-21.
- Méheut, M. (1982). *Combustions et réaction chimique dans un enseignement destiné à des élèves de sixième (11-12 ans)*. Université Paris VII, Paris.
- Méheut, M. (1996). Enseignement d'un modèle particulière cinétique de gaz au collège : questionnement et simulation. *Didaskalia*, n°8, pp.7-32.
- Méheut, M. & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences : aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, vol 26 , (n°5), pp.515-535.
- Meirieu, P. (2008). *Faut-il en finir avec la pédagogie?* Communication présentée au Éducation et Pédagogie, Toulouse.
- Mellado, V. (1998). Preservice teacher's classroom practice and their conceptions of the nature of science. Dans *International Handbook of science education - part two* (Vol. 2, pp. 1093-1110): B. Fraser & K. Tobin.
- Mercier, A. (2001). Le temps didactique - Petit vocabulaire à l'usage des enseignants débutants. Repéré à <http://recherche.aix-mrs.iufm.fr/publ/voc/n1/mercier3/index.html>
- Monod-Ansaldi, R., Digard, I., Florimond, A., Fontanieu, V., Péres, C., Rosseto, A. M. & Morel-Deville, F. (2010, 24-25 novembre). *L'investigation en MI-SVT : un chemin vers l'autonomie des élèves ?* Communication présentée au Journées Démarches d'investigation pour l'enseignement des sciences (DIES), Lyon, France.
- Morgan, M. S. & Morrison, M. C. (1998). Modelling Nature : Between Physics and the Physical World. *Philosophia Naturalis*, 35(65-85).

- Morge, L. & Boilevin, J.-M. (2007). *Séquences d'investigation en physique-chimie*. Clermont-Ferrand: scérÉn - CRDP Auvergne.
- Morin, A. & Potvin, G. (1994). Introduction Dans *Pratiques éducatives et recherche: voies d'intégration* (pp. 5-28). Montréal: Repères : essai en éducation - UQAM.
- Morin, E. (1990). *Science avec conscience*. Paris: Le Seuil-Points.
- Morris, W. E. & Brown, C. R. (2016). *David Hume*", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Dans N. Z. Edward (Éd.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2016 Éd.). Repéré à <http://plato.stanford.edu/archives/spr2016/entries/hume/>
- Moscovici, S. (1976). *La psychanalyse, son image et son public*, (2). Paris: PUF.
- Mucchielli, A. (Éd.) (1996) Dictionnaire des méthodes qualitatives en sciences humaines et sociales. Paris: Broché.
- Mukamurera, J., Lacourse, F. & Couturier, Y. (2006). Des avancées en analyse qualitative : pour une transparence et une systématisation des pratiques. *Recherches Qualitatives*, 26(1), 110-138.
- Ndayizamba, A. (2015). *Approche qualitative des facteurs de réussite et d'échec en première année d'étude à l'Université du Burundi*. Université catholique de Louvain, Louvain.
- Oldache, M., Khiari, C.-E. & Belarbi, T. (2015). Le concept de realite en physique : une etude epistemologique. *Revue algérienne de physique*, 2(1), 1-6. Repéré à http://www.usthb.dz/RAP/IMG/pdf/oldache-rev.alg.phys.2_1_2015.pdf
- Orange, C. (1994a). *Intérêt de la modélisation pour la définition de savoirs opérants en biologie-géologie. Exemple de la modélisation compartimentale au lycée*. (Thèse de Doctorat). Paris VII, Paris.
- Orange, C. (1994b). Les modèles, de la mise en relation au fonctionnement. Dans INRP (Éd.), *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation* (pp. 25-43). Paris: INRP/LIREST.

- Orange, C. (2003). Investigations empiriques, constructions de problèmes et savoirs scientifiques. Dans C. Larcher (Éd.), *La pratique expérimentale dans la classe*. Paris: INRP.
- Orange, C. (2005). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. *ASTER*, 40, 3-13.
- Orange Ravachol, D. (2005). Problématisation fonctionnaliste et problématisation historique en sciences de la Terre chez les chercheurs et chez les lycéens. *ASTER*, 40, 177-204.
- Orange Ravachol, D. & Orange, C. (2015). Dispositifs collaboratifs, développement de la profession enseignante et réticence des enseignants : l'exemple des situations divergentes. Dans G. Samson, N. Sylla & C. Couture (Éds.), *Recherche participative & didactique pour les enseignants : Perspectives croisées en science & technologie* (pp. 91-112). Nice: Les éditions Ovadia.
- Organisation de Coopération et de Développement économiques. (2006). *Evolution of student interest in science and technology studies. Global Science Forum - Policy Report*.
- Organisation de Coopération et de Développement économiques. (2010). *Main Science and Technology Indicators*. Repéré à <http://www.oecd.org/sti/sci-tech/> - <http://www.oecd.org/science/inno/43143328.pdf>
- Organisation de coopération et de développement économiques. (2013). *L'éducation aujourd'hui 2013 - La perspective de l'OCDE*. OCDE. Repéré à http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/education/l-education-aujourd-hui-2013_edu_today-2013-fr
- Pacherie, É. (2006). Intentionnalité. Dans D. Lecourt (Éd.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (4, pp. 636-637). Paris: Presses Universitaires de France.
- Paillé, P. & Mucchielli, A. (2008). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales* (2). Paris: Armand Colin.
- Passmore, C. & Stewart, J. (2002). A Modeling Approach to Teaching Evolutionary Biology in High Schools. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(3), 185-204. doi: 10.1002/tea.10020

- Pastré, P. (2002). L'analyse du travail en didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie*, 138 (janvier - février - mars), 9-17.
- Pautal, É. (2012). *Enseigner et apprendre la circulation du sang : analyse didactique des pratiques conjointes et identifications de certains de leurs déterminants : trois études de cas à l'école élémentaire*. (Doctorat de l'Université de Toulouse). Université de Toulouse 2 - Le Mirail, Toulouse.
- Pélissier, L., Nicolas, H. & Venturini, P. (2016, 30 mars - 1e avril 2016). *Les modèles dans l'enseignement de la physique au lycée : de la nécessité de construire des faits didactiques pour décrire la place et la nature des savoirs scientifiques en œuvre dans la classe*. Communication présentée au 9e rencontres scientifiques de l'ARdiST, Lens, France.
- Pellaud, F. (1999). Repenser l'enseignement des sciences dans une optique d'éducation à la citoyenneté. Dans Conseil de l'Europe (Éd.), *Les enjeux de l'enseignement des sciences* (pp. 35-48). Strasbourg - France: Forum du comité de l'éducation. Repéré à http://www.ldes.unige.ch/publi/vulg/CEU_99/CEUFP.htm
- Perrenoud, P. (2001). *Développer la pratique réflexive sur le métier d'enseignant*. Paris: ESF.
- Perret, V. & Séville, M. (1999). Fondements épistémologiques de la recherche. Dans R.-A. Thiétart (Éd.), *Méthodes de recherche en management* (pp. 13-33). Paris: Dunod.
- Piaget, J. (2005). *La représentation du monde chez l'enfant*. Paris: PUF. (1947).
- Pierrard, M.-A. (1988). Modélisation et Astronomie. *Aster*, 7, 91-102.
- Poisson, Y. (1992). *La recherche qualitative en éducation*. Québec: Presses de l'Université du Québec. Repéré à http://books.google.ca/books?id=RPh9nHoGwCgC&printsec=frontcover&dq=Yves+Poisson&source=bl&ots=zDj8TuMCQu&sig=llEXY1sCMe_ZdO0-XkNx-UL1rrl&hl=fr&ei=r1qnS_GDOsP_lgeNytXhAQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CA8Q6AEwAg-v=onepage&q=&f=false
- Popelard, M.-D. & Vernant, D. (1997). *Les grands courants de la philosophie des sciences*. Paris: Seuil.

- Popper, K. R. (1979). Logique des sciences sociales. Dans T. W. Adorno & K. R. Popper (Éds.), *De Vienne à Francfort, la querelle allemande des sciences sociales* : Complexe.
- Popper, K. R. (2006). *Conjectures et réfutations - La croissance du savoir scientifique*. Payot.
- Popper, K. R. (2007). *La logique de la découverte scientifique*. Paris: Payot.
- Porchet, M. (2002). *Les jeunes et les études scientifiques : les raisons de la désaffection, un plan d'action*. Paris - France: France. Ministère de l'éducation Nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Repéré à <http://media.education.gouv.fr/file/91/8/5918.pdf>
- Portides, D. P. (2007). The Relation between Idealisation and Approximation in Scientific Model Construction. *Science & Education*, 16, 699-724.
- Postic, M. & De Ketele, J. M. (1988). *Observer les situations éducatives*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Potvin, P. & Hasni, A. (2014). Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels : a systematic review of 12 years of educational research. *Studies in Science Education*, 50(1), 85-129.
- Poussielgue, N. (2006). Démarches d'investigation raisonnée en sciences et technologie pour des élèves en difficulté scolaire Le jeu en vaut-il la chandelle? *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, 33(1^{er} trimestre), 123-132.
- Primatesta, S. & Kummer, J. (2012). La place centrale du modèle dans l'enseignement de la biologie. Dans R. Kopp & F. Lombard (Éds.), *La modélisation en biologie, comment la traiter en classe?* (pp. 11-22). Genève: Université de Genève.
- Prins, G. T., Bulte, A. M. W., van Driel, J. H. & Pilot, A. (2008). Selection of Authentic Modelling Practices as Contexts for Chemistry Education. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1867-1890. doi: 10.1080/09500690701581823
- Prins, G. T., Bulte, A. M. W., van Driel, J. H. & Pilot, A. (2009). Students' Involvement in Authentic Modelling Practices as Contexts in Chemistry

- Education. *Research in Science Education*, 39(5), 681-700. doi: 10.1007/s11165-008-9099-4
- Puren, C. (1999). La didactique des langues-cultures étrangères entre méthodologie et didactologie. *les langues modernes*, 3, 26-40.
- Québec. Ministère de l'Éducation du Loisir et du Sport. (2007a). *Programme de formation de l'école Québécoise - secondaire 2^{ème} cycle - Domaine de la mathématique, de la science et de la technologie - Science et technologie*. Québec (QC) : Gouvernement du Québec.
- Québec. Ministère de l'Éducation du Loisir et du Sport. (2007b). *Programme de formation de l'école québécoise - Domaine de la mathématique, de la science et de la technologie - Science et technologie (2^{ème} année du 2^{ème} cycle du secondaire) Science et technologie de l'environnement*. Québec (QC) : Gouvernement du Québec.
- Québec. Ministère de l'Éducation du Loisir et du Sport. (2011). *Progression des apprentissages au secondaires - Science et technologie 1^{er} cycle - Science et technologie 2^{ème} cycle - Science et technologie de l'environnement*. Québec (QC) : Gouvernement du Québec.
- Québec. Ministère de l'Éducation du Loisir et du Sport. (2013). *Cadre d'évaluation des apprentissages - Science et technologie - Science et technologie de l'environnement - Enseignement secondaire 2^{ème} cycle*. Québec (QC) : Gouvernement du Québec. Repéré à <https://www7.mels.gouv.qc.ca/DC/evaluation/index.php?page=science-et-technologie-et-science-et-technologie-de-l-environnement-sec-cycle2>
- Ramsay, K., Logan, M. & Skamp, K. (2005). Primary students' perceptions of science and scientists: Affecting senior secondary science enrolments? *Teaching Science - the Journal of the Australian Science Teachers Association*, 51(4), 20-25. Repéré à <http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=18981055&login.asp&lang=fr&site=ehost-live>
- Reece, J., Urry, L., Cain, M., Wasserman, S., Minorsky, P. & Jackson, R. (2011). *Campbell Biologie* (traduit par J. Faucher & R. Lachaine) (9). San Francisco, CA: Pearson Education - Cummings, B.
- Rey, A. (1979). *La terminologie : noms et notion*. Paris: Presses universitaires de France.

- Riopel, M. (2005). Épistémologie et enseignement des sciences. Repéré à <http://www.er.uqam.ca/nobel/r20507/epistemologie/>
- Riopel, M., Raïche, G., Potvin, P., Fournier, F. & Nonon, P. (2006). Une approche intégrée de la modélisation scientifique assistée par l'ordinateur. *ASTER*, 43, 57-80.
- Robardet, G. (1990). Utiliser des situations-problèmes pour enseigner les sciences physiques. *petit x*, 23, 61-70.
- Robardet, G. (1999). La didactique des sciences physiques dans la formation des professeurs vue à travers l'analyse de leurs mémoires professionnels. *Didaskalia*, 15, 9 à 39.
- Robardet, G. & Guillaud, J. C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris: PUF.
- Robert, A. D. & Bouillaguet, a. (1997). *L'analyse de contenu. Que sais-je ?* . Paris - France: PUF.
- Robine, F. (2009). Une discipline sous le regard de la Nation. *Cahiers Pédagogiques*, 469. Repéré à <http://www.cahiers-pedagogiques.com/spip.php?article4157>
- Rocard, M., Hemmo, V., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D. & Wallberg-Henrikson, H. (2007). *L'enseignement scientifique aujourd'hui : Une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe*. Bruxelles (Belgique): Direction générale de la recherche : Science, économie et société - Unité : Culture scientifique et questions de genre.
- Ronveaux, C., Gagnon, R., Aeby Daghe, S. & Dolz-Mestre, J. (2013). Les objets d'enseignement et de formation en français : les séquences, les dispositifs et leurs synopsis. Dans J.-L. Dorier, F. Leutenegger & B. Schneuwly (Éds.), *Didactique en construction, constructions des didactiques* (pp. 201-224). Bruxelles: De Boeck. Repéré à <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:31947>
- Ronveaux, C. & Schneuwly, B. (2007). Approches de l'objet enseigné. Quelques prolégomènes à une recherche didactique et illustration par de premiers résultats. *Éducation et didactique*, 1(1). Repéré à <http://educationdidactique.revues.org/77>

- Roy, J.-A. (1995). Représentation du rôle de l'enseignant de sciences telle qu'elle émerge de recherches qualitatives publiées de 1983 à 1993 dans les revues *Science Education* et *Journal of Research in Science Teaching*. *Revue des sciences de l'éducation*, 21(2), 241-262.
- Roy, P. & Hasni, A. (2014). Les modèles et la modélisation vus par des enseignants de sciences et technologies du secondaire au Québec. *McGill Journal of Education*, 49(2), 349. doi: 10.7202/1029424ar
- Saari, H. & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1333-1352. Repéré à <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=11842177&site=ehost-live>
- Saint-Onge, H. & Wallace, D. (2003). *Leveraging communities of practice for strategic advantage*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Sales Cordeiro, G., Schneuwly, B. & Jacquin, M. (2005, 14-15-16 février 2005). *Le synopsis : un outil de base pour la description et la compréhension des pratiques enseignantes en classe de français*. Communication présentée au Former des enseignants professionnels, savoirs et compétences : V^e colloque international, Nantes - IUFM des Pays de la Loire.
- Saltiel, É. (1993). Hulin (Michel). — Le Mirage et la Nécessité. *Revue française de pédagogie*, 104(1), 120-122.
- Samson, G. (2007). Enseigner les sciences en intégrant les mathématiques et ainsi favoriser le transfert des apprentissages. Dans P. Potvin, M. Riopel & S. Masson (Éds.), *Regards multiples sur l'enseignement des sciences* (pp. 411-426). Québec - QC: Multimondes.
- Sanchez, E. (2007). *Investigation scientifique et modélisation pour l'enseignement des sciences de la Terre - Contribution à l'étude de la place des technologies numériques dans la conduite d'une classe de terrain au lycée*. Université Claude Bernard - Lyon I, Lyon.
- Sanchez, E. (2008). Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la terre? *Éducation et didactique*, 2(2), 95-120. Repéré à <http://educationdidactique.revues.org/314>

- Sanchez, E. & Prieur, M. (2006). *Démarche d'investigation dans l'enseignement des sciences de la Terre : activités-élèves et scénarios*. Communication présentée au Scénariser l'enseignement et l'apprentissage : une nouvelle compétence pour le praticien ?, Lyon.
- Santerre, L. (2003). *La culture scientifique et technique au Québec - Synthèse des consultations*. Sainte-Foy (QC) : Conseil de la Science et de la Technologie - Gouvernement du Québec.
- Santerre, L. (2006). La part de l'école dans le développement d'une culture scientifique et technique Dans A. Hasni, Y. Lenoir & J. Lebeaume (Éds.), *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies au secondaire dans le contexte des réformes par compétences* (pp. 41-58). Québec: Presses de l'Université de Québec.
- Santini, J. (2010). Les systèmes sémiotiques dans l'action conjointe en didactique. Une étude de cas en géologie à l'école élémentaire : la coupe d'un appareil volcanique. *RDST, Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 2, 159-192.
- Savoie-Zajc, L. (1996). Journal de Bord. Dans A. Mucchielli (Éd.), *Dictionnaire des méthodes qualitatives en sciences humaines et sociales* (pp. 116-117). Paris: Armand Colin.
- Savoie-Zajc, L. (2000). L'analyse de données qualitatives: pratiques traditionnelle et assistées par le logiciel NUD*IST. *Recherches qualitatives*, 20, 99-123.
- Savoie-Zajc, L. (2004a). La recherche qualitative/interprétative en éducation. Dans T. Karsenti & L. Savoie-Zajc (Éds.), *La recherche en éducation: étapes et approches* (3). Sherbrooke: Éditions du CRP.
- Savoie-Zajc, L. (2004b). Les communautés pratiques de chercheurs et des enseignants : contribution de la recherche à l'accompagnement du changement. Dans G. Pelletier (Éd.), *Accompagner les réformes et les innovations en éducation. Consultance, recherche et formation* (pp. 211-235). Paris: L'Harmattan.
- Savoie-Zajc, L. (2005). Soutenir l'émergence de communauté d'apprentissage au sein de communautés de pratique ou les défis de l'accompagnement au changement. Dans L. Sauvé, Orellana I., Van Steenberghe É. (Éd.), *Éducation et environnement: un croisement de savoirs* (pp. 63-75). Montréal: Les cahiers scientifiques de l'ACFAS.

- Savoie-Zajc, L. (2009). L'entrevue semi-dirigée. Dans B. Gauthier (Éd.), *Recherche sociale : de la problématique à la collecte des données* (5, pp. 263-286). Sainte-Foy: Presses de l'Université du Québec.
- Savoy, L.-G. & Steeples, B. (1994). Concept hierarchies in the balancing of chemical equations. *Science Education Notes*, 75, 97-110.
- Schön, D. (1994). *Le praticien réflexif*. Montréal: Les éditions logiques.
- Schubauer-Leoni, M. L. & Leutenegger, F. (2002). Expliquer et comprendre dans une approche clinique/ expérimentale du didactique ordinaire. Dans M. Saada-Rober & F. Leutenegger (Éds.), *Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation* (pp. 227-251): De Boeck.
- Schubauer-Leoni, M. L., Leutenegger, F., Ligozat, F. & Fluckiger, A. (2007). Un modèle de l'action conjointe professeur-élèves: les phénomènes didactiques qu'il peut/doit traiter. Dans G. Sensevy & A. Mercier (Éds.), *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 51-91). Rennes: Presses Universitaires de Rennes. Repéré à <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:29256>
- Schwartz, R. S. & Lederman, N. G. (2008). What Scientists Say: Scientists' views of nature of science and relation to science context. *International Journal of Science Education*, 30(6), 727-771. doi: 10.1080/09500690701225801
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. & Crawford, A. (2004). Developing Views of Nature of Science in an Authentic Context: An Explicit Approach to Bridging the Gap Between Nature of Science and Scientific Inquiry. *Science Education*, 88(4), 610-645. Repéré à 10.1002/sce.10128 <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=13759356&site=ehost-live>
- Schwarz, C. V. & White, B. Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition & Instruction*, 23(2), 165-205. Repéré à 10.1207/s1532690xci2302_1 <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=16862145&site=ehost-live>
- Sebillotte, M. (2007). L'analyse des pratiques - Réflexions épistémologiques pour l'agir du chercheur. Dans M. Anadón (Éd.), *La recherche participative* (pp. 49-84). Québec (QC): Presses de l'Université du Québec.

- Sensevy, G. (2001a). Théories de l'action et action du professeur. *Raisons éducatives*, 4, *théorie de l'action et interventions formatives*, 203-224.
- Sensevy, G. (2001b). Théories de l'action et action du professeur. Dans J.-M. Baudouin & J. Friederich (Éds.), *Théories de l'action et éducation* (pp. 203-224). Bruxelles: De Boeck.
- Sensevy, G. (2006). L'action didactique. Éléments de théorisation. *Revue suisse des sciences de l'éducation*., 28(2), 205-225.
- Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action du professeur. Dans G. Sensevy & A. Mercier (Éds.), *Agir ensemble* (pp. 13-49). Rennes: Presses universitaires de Rennes.
- Sensevy, G. (2008). Le travail du professeur pour la théorie de l'action conjointe en didactique : une activité située ? *Recherche et formation*, 58, 39-50.
- Sensevy, G. (2011a). Comprendre l'action didactique : méthode et jeu d'échelle. Dans *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique* (pp. 217-302). Bruxelles: De Boeck. Repéré à <http://python.bretagne.iufm.fr/sensevy/sensdusavoir/LeSensDuSavoirChap6.pdf>
- Sensevy, G. (2011b). Intentions professorales et construction du jeu. Dans *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique* (pp. 183-215). Bruxelles: De Boeck. Repéré à <http://python.bretagne.iufm.fr/sensevy/sensdusavoir/LeSensDuSavoirChap5.pdf>
- Sensevy, G. (2011c). La théorie de l'action conjointe en didactique. Premières directions. Dans *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique* (pp. 17-57). Bruxelles: De Boeck. Repéré à <http://python.bretagne.iufm.fr/sensevy/sensdusavoir/LeSensDuSavoirChap1.pdf>
- Sensevy, G. (2011d). *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles: De Boeck.
- Sensevy, G. (2012). Le jeu comme modèle de l'activité humaine et comme modèle en théorie de l'action conjointe en didactique. Quelques remarques. *NPSS*, 7(2), 105-132.

- Sensevy, G., Mercier, A. & Schubauer-Leoni, M. L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur. À propos de la course à 20. *RDM, Recherches en Didactique des Mathématiques*, 20(3), 263-304.
- Sensevy, G. & Quilio, S. (2002). Les discours du professeur. Vers une pragmatique didactique. *Revue française de pédagogie*, 141(octobre - novembre - décembre), 47-56.
- Sensevy, G. & Santini, J. (2006). Modélisation : une approche épistémologique. *Aster*, 43, 163-188.
- Séré, M.-G. (1992). Guider le raisonnement d'élèves de collège avec des modèles particuliers de la matière. *Aster*, n° 14, pp.78-102.
- Sharken- Simon, J. (2013). *The Wilder Nonprofit Field Guide to Conducting Successful Focus Groups*. Saint Paul - MN: Hyman, V.
- Sin, C. (2014). Epistemology, Sociology, and Learning and Teaching in Physics. *Science Education*, 98(2), 342-365.
- Sinaceur, H. (2006). Modèle. Dans D. Lecourt (Éd.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (4, pp. 756-759). Paris: Presses Universitaires de France.
- Sylla, O. (2005). *Essai de construction d'un référent pour l'apprentissage de la thermodynamique chimique*. (Doctorat). École Normale supérieure de cachan, Cachan - France.
- Ternay, J. F. & Menillet, D. (2001). Le message de l'image dans la vulgarisation scientifique - L'image : outil de recherche, outil de communication. *CNRS Info - Lettre d'information destinée aux médias*, 394. Repéré à <http://www.cnrs.fr/Cnrspresse/n394/html/n394a26.htm>
- Tesch, R. (1990). *Qualitative research: Analysis Types and Software Tools*. New York: The Falmer Press.
- The Gallup Organization. (2008). *Les jeunes et la science - Rapport analytique*. (Vol. 239).
- Therriault, G. (2008). *Postures épistémologiques que développent des étudiants des profils sciences et technologies et univers social au cours de leur formation*

initiale à l'enseignement secondaire: une analyse de leurs croyances et de leurs rapports aux savoirs (Doctorat en éducation). Université du Québec à Rimouski en partenariat avec l'Université du Québec à Montréal, Rimouski.

- Thomas, D. R. (2003). A general inductive approach for analyzing qualitative evaluation data. *American Journal of Evaluation*, 27(2), 237-246.
- TLFi (Éd.) (2012) Trésor de la langue française informatisé. Nancy - France: CNRS - Université de Lorraine. Repéré à <http://www.cnrtl.fr/definition/langage>
- Tsai, C.-C. (2003). Using a conflict map as an instructional tool to change student alternative conceptions in simple series electric-circuits. *International Journal of Science Education*, 25(3), 307-327. doi: 10.1080/09500690210145756
- Tsai, C.-C. (2006). Reinterpreting and reconstructing science : Teachers' views changes toward the nature of science by courses of science education. *Teacher and Teacher Education*, 22, 363-375.
- Tytler, R. (2007). Re-imagining science education: Engaging student in science for Australia's future. *Teaching Science - the Journal of the Australian Science Teachers Association*, 53(4), 14-17. Repéré à <http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=27886874&login.asp&lang=fr&site=ehost-live>
- Usé, B. (2002). Sciences, images et TIC à l'école. *Enjeux et initiatives - Des outils pour la sciences*, 40, 4-8.
- Van Der Maren, J.-M. (1995). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Bruxelles: Presses de l'Université de Montréal-De Boeck Université.
- Van Der Maren, J.-M. (2006). Les recherches qualitatives : Des critères variés de qualité en fonction des types de recherches. Dans L. Paquay, M. Crahay & J.-M. De Ketele (Éds.), *L'analyse qualitative en éducation - des pratiques de recherches aux critères de qualité - Hommages à Michael Huberman* (pp. 65-80). Bruxelles: De Boeck.
- van Driel, J. H., De Jong, O. & Verloop, N. (2002). The Development of Preservice Chemistry Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Science Education*, 86(4), 572. Repéré à <http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=7184184&login.asp&lang=fr&site=ehost-live>

- van Driel, J. H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
Repéré à 10.1080/095006999290110
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=3838057&site=ehost-live>
- van Driel, J. H. & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-1272. Repéré à 10.1080/09500690210126711
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ehh&AN=8898137&site=ehost-live>
- Verhaeghe, J.-C., Wolfs, J.-L., Simon, X. & Compère, D. (2004). *Pratiquer l'épistémologie: Un manuel d'initiation pour les maîtres et formateurs*. Bruxelles: De Boeck Université.
- Vigotski, I. (2013). *Pensée et langage* (traduit par F. Sève). Paris: La Dispute.
- Vinatier, I. & Altet, M. (2008). Introduction : Les analyses de la pratique et de l'activité Dans *Analyser et comprendre les pratiques enseignantes* (pp. 9-22). Rennes: Presses Universitaires de rennes - PUR.
- Von Glaserfeld, E. (1995). A constructivist approach to teaching. Dans L. P. Steffe & J. Gale (Éds.), *Constructivisme in education* (pp. 3-15). Hillsdale, New-Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Von Glaserfeld, E. (2004). Questions et réponses au sujet du constructivisme radical. Dans P. Jonnaert & D. Masciotra (Éds.), *Constructivisme, choix contemporains* (pp. 291-318). Québec: Presses de l'Université de Québec.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18(1), 123-183.
- Vygotski, L. (1934, 1997). *Pensée et Langage*. Paris: La dispute. (1934). Repéré à <http://skhole.fr/lev-vygotski-extrait-concepts-spontanés-et-concepts-scientifiques>
- Wang, M. C., Walberg, H. G. & Haertel, G. D. (1993). Toward a knowledge base for school learning. *Review of Educational Research*, 63(3), 249-294.

- Wanlin, P. (2007). L'analyse de contenu comme méthode d'analyse qualitative d'entretiens : une comparaison entre les traitements manuels et l'utilisation de logiciels. *Recherches Qualitatives, Hors séries*(3), 243-271.
- Weil-Barais, A. & Lemeignan, G. (1994). Approche développementale de l'enseignement et de l'apprentissage de la modélisation. Quelles implications pour la recherche et pour les pratiques d'enseignement? Dans *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation* (pp. 85-114). Paris: INRP/LIREST.
- Weisser, M. (2007). Méthodes d'analyse des interactions verbales au service d'une didactique comparée. *Revue française de pédagogie*, 158 (janvier-février-mars), 103-115.
- Wells, M., Hestenes, D. & Swackhamer, G. (1995). A modeling method for high school physics instruction. *American Journal of Physics*, 63(7), 606. Repéré à <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=9508102704&site=ehost-live>
- Willett, G. (1996). Paradigme, théorie, modèle, schéma : qu'est-ce donc? *Communication et organisation*, 10, 1-16. Repéré à <http://communicationorganisation.revues.org/1873>
- Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967. Repéré à <http://sbiproxy.ugac.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eric&AN=EJ809101&login.asp&lang=fr&site=ehost-live> - <http://dx.doi.org/10.1002/sce.20259>
- Woerther, V. (2015). Comparaison dessin, croquis, schéma. *Mission culturelle scientifique* Repéré le 2016-08-19, à http://www.ia29.ac-rennes.fr/jahia/webdav/site/ia29/shared/espace-educatif/competence3/ressources_sciences/dessin_observation/ComparaisonDessin_Croquis_Sch%C3%A9ma.pdf
- Wu, H.-K., Krajcik, J. S. & Soloway, E. (2001). Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, vol 38 (n°7), pp.821-842.

LISTES DES ANNEXES

	Pages
Annexe A	312
Planification du groupe focalisé n° 1 : Planifier et préciser notre projet commun	
Annexe B	313
Canevas du groupe focalisé n° 1 : Planifier et préciser notre projet commun	
Annexe C	315
Grille de l'observation n° 1 : Prendre le pouls de ce qui se fait en classe, au regard des modèles et de la démarche de modélisation Analyse sous l'angle de la genèse	
Annexe D	316
Grille de l'observation n° 1 : Prendre le pouls de ce qui se fait en classe, au regard des modèles et de la démarche de modélisation Observables liés à l'apprentissage du savoir en jeu, ainsi qu'aux perturbations et aux régulations de la situation didactique Analyse sous l'angle de la structure de l'action didactique	
Annexe E	317
Planification du groupe focalisé n° 2 : Partager un cadre de référence et planifier conjointement des ajustements de pratique	
Annexe F	318
Canevas du groupe focalisé n° 2 : Partager un cadre de référence et planifier conjointement des ajustements de pratique	

Annexe G	Grille de l'observation n° 2 : Mettre à l'essai certaines stratégies pour articuler le concret et l'abstrait et envisager des ajustements de pratique au regard des modèles et de la démarche de modélisation Analyse sous l'angle de la genèse	320
Annexe H	Grille de l'observation n° 2 : Mettre à l'essai certaines stratégies pour articuler le concret et l'abstrait et envisager des ajustements de pratique au regard des modèles et de la démarche de modélisation Observables liés à l'apprentissage du savoir en jeu, ainsi qu'aux perturbations et aux régulations de la situation didactique Analyse sous l'angle de la structure de l'action didactique	321
Annexe I	Planification du groupe focalisé n° 3 : Faire le bilan de nos réalisations	322
Annexe J	Canevas du groupe focalisé n° 3 : Faire le bilan de nos réalisations	323
Annexe K	Canevas de la séance d'observation sur le péristaltisme	325
Annexe L	Canevas de la séance d'observation sur les pluies acides	327
Annexe M	Canevas de la séance d'observation sur les coacervats	329
Annexe N	Canevas de la séance d'observation sur l'électricité	333

Annexe O	Grille d'analyse des niveaux de modélisation (Amato-Imboden et coll., 2012)	337
Annexe P	Synopsis de la séance d'observation sur le péristaltisme	343
Annexe Q	Synopsis de la séance d'observation sur les pluies acides	345
Annexe R	Synopsis de la séance d'observation sur les coacervats	350
Annexe S	Synopsis de la séance d'observation sur l'électricité	358

ANNEXE A : Planification du groupe focalisé n° 1

Planifier et préciser notre projet commun

Thèmes	Concepts	Objectifs
Aborder leurs conceptions de l'enseignement de S&T	<ul style="list-style-type: none">- Visées éducatives en S&T- Visée du programme de formation (PFEQ)	Objectif 1 Analyser les pratiques d'enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.
Projeter l'énoncé relatif à la démarche de modélisation, tel qu'on le trouve dans le PFEQ	<ul style="list-style-type: none">- Visée du programme de formation (PFEQ)- Modèles et démarche de modélisation dans le PFEQ- Pratiques d'enseignement	
Aborder leurs bons et leurs moins bons coups dans leur enseignement de S&T	<ul style="list-style-type: none">- Pratiques d'enseignement	
Aborder la notion de concret et d'abstrait	<ul style="list-style-type: none">- Pratiques d'enseignement- Concret et abstrait- Articulation concret/abstrait- Concepts, lois, modèles et théories	
Aborder les concepts de modèles et démarche de modélisation	<ul style="list-style-type: none">- Modèles et démarche de modélisation- Stratégies et pratiques d'enseignement	
Choisir une stratégie bien établie à mettre en œuvre lors de la première observation		

ANNEXE B : Canevas d’entrevue du groupe focalisé n° 1 – Planifier et préciser notre projet commun - Examiner, avec les enseignants, des stratégies et des pratiques d’enseignement qu’ils mettent en œuvre pour articuler le concret et l’abstrait.

	Sujet des questions	Concepts	Objectifs de recherche
Aborder leurs conceptions de l’enseignement de S&T			
1	Les priorités dans l’enseignement de S&T	Visées éducatives en S&T	Objectif 1 : Analyser les pratiques d’enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.
2	Les changements majeurs introduits par le renouveau pédagogique dans l’enseignement et l’apprentissage de S&T	Visée du programme de formation (PFEQ)	
Projeter l’énoncé relatif à la démarche de modélisation, tel qu’on le trouve dans le PFEQ			
3	Compréhension de la démarche de modélisation?	Visée du programme de formation (PFEQ) Modèles et démarche de modélisation dans le PFEQ	Objectif 1 : Analyser les pratiques d’enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.
4	Pratiques d’enseignement liées à cette démarche	Modèles et démarche de modélisation dans le PFEQ Pratiques d’enseignement	
Aborder leurs bons et leurs moins bons coups dans leur enseignement de S&T			
5	Principales difficultés rencontrées dans l’enseignement de S&T	Pratiques d’enseignement	Objectif 1 : Analyser les pratiques d’enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.
6	Difficultés auxquelles les élèves sont le plus souvent confrontés	Pratiques d’enseignement	

	Sujet des questions	Concepts	Objectifs de recherche
Aborder la notion de concret et d’abstrait			
7	Gestion des notions abstraites en S&T Conciliation champ concret/abstrait	Pratiques d’enseignement Concret et abstrait	Objectif 1 : Analyser les pratiques d’enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.
8	Concepts particulièrement difficiles à enseigner – qui posent très souvent des problèmes dans leur apprentissage	Pratiques d’enseignement Concret et abstrait	
Aborder les rôles des modèles et démarches de modélisation			
9	Modèles en S&T modèle. Rôle – Utilisation – Exemples, etc.	Modèles	Objectif 1 : Analyser les pratiques d’enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.
10	Modèles dans les ouvrages scolaires	Modèles et démarche de modélisation	
11	Utilisation des modèles avec les élèves		
12	Compréhension des modèles par les élèves		
13	Meilleure stratégie d’enseignement faisant appel aux modèles et à la démarche de modélisation	Modèles et démarche de modélisation Stratégies et pratiques d’enseignement	

Choisir une stratégie bien établie à mettre en œuvre lors de la première observation	
L'enseignant choisit une séance du contenu de son choix où il fait appel aux modèles.	Objectif 2 : Développer, avec les enseignants, des ajustements de pratique qui font appel à des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation, afin de faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait.

ANNEXE C : Grille de l'observation n° 1

Prendre le pouls de ce qui se fait en classe, au regard des modèles et de la démarche de modélisation – Analyse sous l'angle de la genèse

Concepts utilisés – cadre théorique	Référénts concrets Référénts abstraits Passage à l'abstrait Passage au concret Concepts, lois et théories utilisés Modèle(s) utilisé(s) Démarche mise en œuvre
Questionnement de la chercheuse	
Quel est le savoir en jeu?	
Comment est-il envisagé?	
Qu'est-ce qui permet de justifier l'utilisation d'un modèle?	
Qui est entré dans le jeu d'apprentissage?	
Quand l'introduction du modèle est-elle rendue nécessaire et comment?	
Quels concepts, lois et théories sont utilisés?	
Comment sont-ils envisagés?	
Qu'est-ce qui permet de justifier l'utilisation du ou des modèles choisis?	
Quel modèle est proposé et comment?	
Qui a introduit le modèle et comment?	
Qu'est-ce qui justifie l'évolution, le changement du modèle?	
Qui a envisagé les limites du modèle envisagé?	
Qui a proposé un nouveau modèle?	
Qui s'engage sur la voie d'une démarche de modélisation et comment?	
Quelles sont les difficultés rencontrées?	
Comment ces difficultés sont-elles négociées?	
Qui fait avancer et vivre le temps didactique et comment?	
Qui formule et qui valide les définitions relatives au savoir en jeu?	
Quelles sont les interventions de l'enseignant?	
Quelles sont les interventions des élèves?	
Quelle est la répartition de ces interventions?	

ANNEXE D : Grille de l'observation n° 1

Prendre le pouls de ce qui se fait en classe, au regard des modèles et de la démarche de modélisation

Observables liés à l'apprentissage du savoir en jeu, ainsi qu'aux perturbations et aux régulations de la situation didactique

	Interventions de l'enseignant		Interventions des élèves
	<ul style="list-style-type: none"> - Activités - Changement d'activités - Ponctuant - Consignes 	<ul style="list-style-type: none"> - Questions – questions de relance - Aide, guidage 	<ul style="list-style-type: none"> - Activités - Changement d'activités - Questions
Mise en situation			
Situation			
Épilogue			

ANNEXE E : Planification du groupe focalisé n° 2

Partager un cadre de référence et planifier conjointement des ajustements de pratique

Thèmes	Concepts	Objectifs
Revenir sur la séance d'enseignement observée pour chaque enseignant.	Visées éducatives en S&T Visée du programme de formation (PFEQ) Concret et abstrait Articulation concret/abstrait Concepts, lois, modèles et théories Stratégies et pratiques d'enseignement	Objectif 1 Analyser les pratiques d'enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.
Décrire et explorer les situations d'enseignement, mises en œuvre par les enseignants, où ils ont utilisé les modèles et la démarche de modélisation.	Modèles et démarche de modélisation Stratégies et pratiques d'enseignement Ajustement de pratique	Objectif 2 : Développer, avec les enseignants, des ajustements de pratique qui font appel à des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation, afin de faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait. Objectif 3 : Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.
Planifier conjointement des ajustements de pratique pour faciliter la conciliation du concret et de l'abstrait en utilisant un enseignement basé sur les modèles et la démarche de modélisation dans une telle conciliation.	Modèles et démarche de modélisation Stratégies et pratiques d'enseignement Ajustement de pratique	Objectif 2 : Développer, avec les enseignants, des ajustements de pratique qui font appel à des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation, afin de faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait. Objectif 3 : Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.

ANNEXE F : Canevas d’entrevue du groupe focalisé n° 2 – Partager un cadre de référence et planifier conjointement des ajustements de pratique

	Questions	Concepts	Objectifs
Revenir sur la séance d’enseignement observée pour chaque enseignant.			
1	Situation de la séance dans le programme de formation	Visées éducatives en S&T	Objectif 1 : Analyser les pratiques d’enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.
2	Compétences particulièrement travaillées		
3	Concepts mis en jeu		
Décrire et explorer les situations d’enseignement, mises en œuvre par les enseignants, où ils ont utilisé les modèles et la démarche de modélisation.			
4	Éléments concrets – abstraits – Articulation concret/abstrait		Objectif 1 : Analyser les pratiques d’enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.
5	Difficultés rencontrées par les élèves pour ce passage du concret à l’abstrait dans la situation étudiée	Concret abstrait Articulation concret/abstrait	
6	Les élèves ont-ils eu recours à des modèles pour ce passage du concret à l’abstrait dans la situation étudiée?	Modèles et démarche de modélisation	
7	Modèles mis en œuvre	Modèles et démarche de modélisation Concepts, lois, modèles et théories	

	Questions	Concepts	Objectifs
8	Utilisation par les élèves des modèles et de la démarche de modélisation	Stratégies et pratique d'enseignement Modèles et démarche de modélisation	
9	Difficultés rencontrées par les élèves		
10	Éléments ayant bien fonctionné dans cette séance	Stratégies et pratique d'enseignement Ajustement de pratique	Objectif 3 : Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.
11	Éléments ajustés par l'enseignant relatif aux modèles et démarches de modélisation comme suite aux discussions du premier groupe focalisé		
Planifier conjointement des ajustements de pratique pour faciliter la conciliation du concret et de l'abstrait en utilisant un enseignement basé sur les modèles et la démarche de modélisation dans une telle conciliation.			
12	Construction de séances d'enseignement autour des modèles et de la démarche de modélisation	Stratégies et pratique d'enseignement Ajustement de pratique Modèles et démarche de modélisation	Objectif 2 : Développer, avec les enseignants, des ajustements de pratique qui font appel à des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation, afin de faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait.
13	Intégration de modèles et démarche de modélisation à l'enseignement de S&T		Objectif 3 : Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.

ANNEXE G : Grille de l'observation n° 2

Mettre à l'essai certaines stratégies pour articuler le concret et l'abstrait et envisager des ajustements de pratique au regard des modèles et de la démarche de modélisation – Analyse sous l'angle de la genèse

Concepts utilisés – le cadre théorique	Référents concrets
	Référents abstraits Passage à l'abstrait Passage au concret Modèle(s) utilisé(s) Démarche mise en œuvre
Questionnement de la chercheuse	
Quel est le savoir en jeu?	
Comment est-il envisagé?	
Qu'est-ce qui permet de justifier l'utilisation d'un modèle?	
Qui est entré dans le jeu d'apprentissage?	
Quand l'introduction du modèle est-elle rendue nécessaire et comment?	
Quels concepts, lois et théories sont utilisés?	
Comment sont-ils envisagés?	
Qu'est-ce qui permet de justifier l'utilisation du ou des modèles choisis?	
Quel modèle est proposé et comment?	
Qui a introduit le modèle et comment?	
Qu'est-ce qui justifie l'évolution, le changement du modèle?	
Qui a envisagé les limites du modèle envisagé?	
Qui a proposé un nouveau modèle?	
Qui s'engage sur la voie d'une démarche de modélisation et comment?	
Quelles sont les difficultés rencontrées?	
Comment ces difficultés sont-elles négociées?	
Qui fait avancer et vivre le temps didactique et comment?	
Qui formule et qui valide les définitions relatives au savoir en jeu?	
Quelles sont les interventions de l'enseignant?	
Quelles sont les interventions des élèves?	
Quelle est la répartition de ces interventions?	

ANNEXE H : Grille de l'observation n° 2

Mettre à l'essai certaines stratégies pour articuler le concret et l'abstrait et envisager des ajustements de pratique au regard des modèles et de la démarche de modélisation

Observables liés à l'apprentissage du savoir en jeu, ainsi qu'aux perturbations et aux régulations de la situation didactique

	Interventions de l'enseignant		Interventions des élèves
	<ul style="list-style-type: none"> - Activités - Changement d'activités - Ponctuant - Consignes 	<ul style="list-style-type: none"> - Questions – questions de relance - Aide, guidage 	<ul style="list-style-type: none"> - Activités - Changement d'activités - Questions
Mise en situation			
Situation			
Épilogue			

ANNEXE I : Planification du groupe focalisé n° 3

Faire le bilan de nos réalisations

Thèmes	Concepts	Objectifs
Retour sur la séance d'enseignement observée pour chaque enseignant	<p>Visées éducatives en S&T</p> <p>Visée du programme de formation (PFEQ)</p> <p>Concret et abstrait</p> <p>Articulation concret/abstrait</p> <p>Concepts, lois, modèles et théories</p> <p>Stratégies et pratiques d'enseignement</p>	<p>Objectif 1</p> <p>Analyser les pratiques d'enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation.</p> <p>Objectif 3 : Analyser les ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.</p>
Décrire et explorer des situations d'enseignement, mises en œuvre par les enseignants, où ils ont utilisé les modèles et la démarche de modélisation	<p>Modèles et démarche de modélisation</p> <p>Modèles et démarche de modélisation dans le PFEQ</p> <p>Stratégies et pratiques d'enseignement</p> <p>Visées éducatives en S&T</p>	<p>Objectif 2 : Développer, avec les enseignants, des ajustements de pratique qui font appel à des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation, afin de faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait.</p> <p>Objectif 3 : Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.</p>
Analyser les considérations didactiques de ces ajustements de pratique	Stratégies et pratiques d'enseignement	Objectif 3 : Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.

ANNEXE J : Canevas d’entrevue du groupe focalisé n° 3 – Faire le bilan de nos réalisations

	Questions	Concepts	Objectifs
Revenir sur la séance d’enseignement observée pour chaque enseignant.			
1	Situation de la séance dans le programme de formation	Visées éducatives en S&T	Objectif 1 : Analyser les pratiques d’enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation
2	Compétences particulièrement travaillées		
3	Concepts mis en jeu		
Décrire et explorer les situations d’enseignement, mises en œuvre par les enseignants, où ils ont utilisé les modèles et la démarche de modélisation.			
4	Éléments concrets – abstraits – Articulation concret/abstrait		Objectif 1 : Analyser les pratiques d’enseignement que les enseignants mettent en œuvre, centrées sur les modèles et la démarche de modélisation
5	Difficultés rencontrées par les élèves pour ce passage du concret à l’abstrait dans la situation étudiée	Concret Abstrait Articulation concret/abstrait	
6	Les élèves ont-ils eu recours à des modèles pour ce passage du concret à l’abstrait dans la situation étudiée?	Modèles et démarche de modélisation	
7	Modèles mis en œuvre	Modèles et démarche de modélisation Concepts, lois, modèles et théories	

	Questions	Concepts	Objectifs
8	Utilisation par les élèves des modèles et de la démarche de modélisation.	Stratégies et pratique d'enseignement Modèles et démarche de modélisation	
9	Difficultés rencontrées par les élèves		
10	Éléments ayant bien fonctionné dans cette séance	Stratégies et pratique d'enseignement Ajustement de pratique	Objectif 3 : Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.
11	Éléments ajustés par l'enseignant relatif aux modèles et démarches de modélisation comme suite aux discussions du premier groupe focalisé		
Analyser les considérations didactiques de ces ajustements de pratique.			
12	Possibilités d'intégration de modèles et démarche de modélisation à l'enseignement de S&T	Stratégies et pratique d'enseignement Ajustement de pratique Modèles et démarche de modélisation	Objectif 2 : Développer, avec les enseignants, des ajustements de pratique qui font appel à des stratégies utilisant les modèles et la démarche de modélisation, afin de faciliter l'articulation du concret et de l'abstrait.
13	Perspectives offertes par les modèles et à la démarche de modélisation quant à l'enseignement de S&T		Objectif 3 : Analyser ces ajustements de pratique selon les visées éducatives en S&T.

ANNEXE K : Canevas de la séance d'observation sur le péristaltisme

Actes	Scènes ou Épisodes	Étapes de l'activité
<ul style="list-style-type: none"> - Installation des élèves en dyades - Distribution du document de travail 		
Prologue [0 - 6:30]	Présentation de la SAÉ	
	Scène 1 [0 - 2:24]	Lecture par un élève de la mise en situation
	Scène 2 [2:24 - 3:33]	Reprise par l'enseignant de la mise en situation : « Qu'est-ce que vous allez construire aujourd'hui? Ce petit modèle de péristaltisme. » Consignes techniques de l'enseignant pour construire l'objet (mesures – plan)
	Scène 3 [3:40 – 3:46]	Mise en contexte de la séance
		L'enseignant : « On parle de quoi dans la SAÉ? » Les élèves : « De péristaltisme »
	Scène 4 [3:48 – 6:30]	Survol par l'enseignant des différentes tâches de la SAÉ Retour sur les consignes de découpe Délégation de la responsabilité de l'utilisation des outils à la TTP
Acte 1 [3:40 - 33:40]	Activité de construction technologique : dévolution du champ expérimental aux élèves	
	Scène 1 [3:40 – 3:46]	Préparation par chaque équipe des tracés en vue de la découpe
	Scène 2 [3:40 – 3:46]	Interventions sporadiques de l'enseignant sur le sens de découpe, la façon de placer les morceaux pour avoir le moins de découpe à faire et perdre le moins de bois possible
	Scène 3 [3:46 – 30:00]	Délégation du travail de découpe à la TTP dans la salle réservée à l'utilisation des outils requis
	Scène 4 [29:25 – 33:40]	Dialogue entre d'un élève et l'enseignant relativement à la manipulation du modèle : é : « Hey Monsieur, comment on fait pour le faire vomir si on n'a pas le droit de toucher aux choses de la bille? » [0:29:25] E : Tu as le droit d'y toucher, c'est juste que ça ici c'est la partie de départ : c'est la bouche. é : C'est quoi à l'intérieur?

Actes	Scènes ou Épisodes	Étapes de l'activité
		E : À l'intérieur c'est une bille.
Fin de la première partie		
Prélude	Remise en contexte de l'activité : L'enseignant propose aux élèves de reprendre où ils en étaient. « Vous savez ce que vous avez à faire, tout ce qui vous reste aujourd'hui c'est continuer. »	
Acte 2	Dévolution du champ expérimental aux élèves	
	Scène 1 [0 - 27:45]	Les élèves reprennent leur matériel et continuent leur construction. L'enseignant circule et donne des consignes sur les détails techniques de construction.
	Scène 2 [durée 15 min]	Les élèves qui terminent leur construction technologique répondent aux questions du document de la SAÉ.
Acte 3	Retour au champ théorique	
	Scène 1 [x – 50:00]	Les élèves remplissent leur document « module 3 » sur les étapes de la digestion en vue de la préparation à l'examen. L'enseignant aide à compléter le document « module 3 » sur les étapes de la digestion et le rôle de chaque organe, comme le pharynx.
Épilogue	Conclusion de la séance : L'enseignant demande aux élèves de bien réviser pour l'examen.	

ANNEXE L : Canevas de la séance d'observation sur les pluies acides

Actes	Scènes ou Épisodes	Faire jouer le jeu : étapes de l'activité
<ul style="list-style-type: none"> - Travail collectif (correction et activation des connaissances antérieures) - Travail en dyades (activité de laboratoire) - Utilisation du TBI pour la projection de document 		
Prologue [0:00 – 2:15]	Présentation de la séance par l'enseignant	
	E1	Présentation de l'ordre du jour : rappels – corrections des exercices – activité de laboratoire
	E2	Fait l'appel
Acte 1 [2:15 – 15:30]	Activation des connaissances antérieures – Correction des exercices	
	Scène 1 [2:15 – 9:58]	Activation des connaissances antérieures par l'enseignante
		E1 E questionne les élèves à tour de rôle sur les notions vues à la séance précédente : atmosphère, météorologie, effet de serre, etc.
		E2 Définition de l'effet de serre par un élève comme « un processus naturel qui permet de retenir sur Terre une partie de la chaleur envoyée par le soleil »
		E3 Énumération des 4 gaz qui participent à l'effet de serre
		E4 Énumération des différentes étapes à considérer dans l'effet de serre
		E5 Représentation du phénomène au tableau par l'enseignante à l'aide d'un schéma [5:10 – 6:10]
		E6 Énumération des sources de gaz à effet de serre
	Scène 2 [9:50 – 15:30]	Correction collégiale des exercices par questionnement des élèves
Acte 2 [15:30 – 27:30]	Activité de laboratoire	
	Scène 1	Mise en situation par l'enseignante : « Le laboratoire que l'on fait cet après-midi, c'est quelque chose de concret et d'intéressant. "Formation des pluies acides" c'est une problématique environnementale qui touche à la fois l'eau quand la pluie tombe et qu'elle est acide. »
	Scène 2	Présentation du champ théorique par l'enseignante
	Scène 3	Activation des connaissances antérieures des élèves sur la

Actes	Scènes ou Épisodes	Faire jouer le jeu : étapes de l'activité	
		formation des pluies acides : questionnement	
	Scène 4	Survol par l'enseignante du document soutenant l'activité de laboratoire	
		E1	Question n° 1 : Observer l'effet du dioxyde de soufre sur le pH de l'eau. « À quel pH considère-t-on que les pluies sont acides? és : 4?..... 6?
		E2	Question n° 2 : La pluie neutre a un pH de 6. Pourquoi?
		E3	Question n° 3 : Quels sont les principaux polluants atmosphériques qui causent les pluies acides?
		E4	« Finalement, la formation des pluies acides est une réaction chimique qui se produit dans l'atmosphère. Alors, à quoi elle ressemble cette réaction chimique? Ça se fait en deux étapes. » [25:36 – écrit au tableau les réactions]
Acte 3 [15:30 – 35:40]	Dévolution du champ expérimental à la TTP		
	Scène 1	E1	Rappel sur l'utilisation des brûleurs au gaz – consignes de sécurité
		E2	Présentation du montage
		E3	Explication des étapes de la manipulation
	Scène 2	Intervention de l'enseignante : précisions relatives au champ expérimental	
	Scène 3	Reprise par la TTP : Lecture du protocole – Précisions techniques	
Acte 4 [35:40– 75:00]	Dévolution du champ expérimental aux élèves		
	Scène 1	E1	Les élèves réalisent l'expérience en suivant le protocole.
		E2	Ils complètent le document en notant les observations – couleur de la solution et papier pH avant et après la réaction.
		E3	Les élèves doivent faire la synthèse du but et la conclusion par eux même.
Sonnerie – fin de la séance			

ANNEXE M : Canevas de la séance d'observation sur les coacervats

Actes Temps [min-sec]	Scènes ou Épisodes	Étapes de l'activité
<ul style="list-style-type: none"> - Travail collectif (correction et activation des connaissances antérieures) - Travail en dyades (activité de laboratoire) - Utilisation du TBI pour la projection de document 		
Prologue [0:00 – 03:00]	Présentation de la séance par l'enseignant	
	P1	Fait l'appel
	P2	Présente l'enjeu de la séance : « Aujourd'hui, on va faire un modèle de quelque chose pour expliquer une étape de l'apparition de la vie sur Terre. »
Acte 1 [03:00 - 20:53]	Activation des connaissances antérieures	
	Scène 1 [3:00 05:35]	Activation des connaissances antérieures par l'enseignante
		E1 E questionne les élèves à tour de rôle sur les notions envisagées la séance précédente : phénomènes naturels apportant de l'énergie.
		E2 E précise le modèle qui va être étudié lors de cette séance.
		E3 E demande aux élèves d'ouvrir leur volume à la page 96.
	Exploration du champ théorique	
	Scène 2 [05:55 08:45]	E4 E demande à un élève de lire l'extrait qui présente l'évolution biochimique de la matière.
		E5 Un élève lit les quelques lignes. [50 s]
		E6 E attire l'attention des élèves sur les dernières lignes qui, précise-t-elle, « résument l'évolution biochimique de la matière ».
		E7 E précise que la théorie suggérée est celle d'une série d'étapes qui ont amené à la première cellule à partir de laquelle se seraient différenciés les différents êtres vivants.
		E9 E présente aux élèves un dessin qui relate la manière dont les molécules se sont jointes entre elles pour se complexifier et créer les premières fondations de la vie, en formant une entité isolée du milieu extérieur. [08:05]

Actes Temps [min-sec]	Scènes ou Épisodes		Étapes de l'activité
		E10	E explique « le comportement de ces molécules-là, qui ne sont pas des cellules, ressemble à ce qui pourrait être du vivant ».
	Scène 3 [08:53 09:20]	E11	E invite un autre élève à reprendre la lecture.
		E12	Un élève lit les quelques lignes. [27 s]
	Scène 4 [09:55 19:33]	E13	E invite ensuite les élèves à regarder la page 26 de leur document et le tableau intitulé « Évolution biochimique de la matière ».
		E14	E présente les différentes étapes.
		E15	E précise que les petites structures dessinées représentent les sucres et sont des molécules cycliques. [13:53]
		E16	E évoque l'océan primitif et illustre ses propos avec des petits dessins. [14:30 - 16:45]
	Scène 4 [19:40 20:53]	E17	E précise l'intention du laboratoire : « ce qu'on veut représenter par ce laboratoire-là ».
		E18	Un élève pose une question « Madame, les dessins est-ce qu'il faut qu'ils soient vraiment exacts, parce que moi ils ne sont pas beaux ». [20:07]
		E19	E répond qu'il suffit que l'élève puisse les reconnaître et qu'une grande précision n'est pas demandée.
		E20	E propose aux élèves d'aller s'installer dans le laboratoire.
ACTIVITÉ DE LABORATOIRE			
Acte 2 [21:24 - 30:01]	Exploration du champ expérimental et théorique par l'enseignante		
	Scène 1 [21:24 : 28:30]	E21	E explique qu'en laboratoire, les élèves vont recréer des microsphères ou coacervats, qui représentent des macromolécules isolées du milieu. [21:24]
		E22	E précise : « Donc ce qu'on veut faire, c'est comme les scientifiques font. Un scientifique, ça admet que quelque chose est vrai quand il est capable de le prouver. »
		E23	E précise que le but est de voir que dans certaines conditions, ces molécules s'organisent et que cette organisation pourrait être un élément précurseur ayant

Actes Temps [min-sec]	Scènes ou Épisodes	Étapes de l'activité	
			permis la vie va s'organiser. [22:01 - 22:44]
		E24	E questionne les élèves sur le nom des premières cellules. [22:44]
		E25	Les élèves répondent.
		E26	E dicte les deux buts du laboratoire et les élèves les notent dans leur protocole.
		E27	E précise que la rédaction de la conclusion devra permettre de répondre à ces deux objectifs.
		E28	E demande aux élèves de se référer ensuite à la page 110 de leur manuel.
		E29	E présente les substances qui vont être utilisées et qui représentent les trois sortes de molécules utilisées : «La gomme arabique est un sucre, la gélatine est une protéine et l'acide c'est pour reconstituer l'acidité du milieu tel qu'il était à ce moment-là.» [27:35]
		E30	E donne des précisions sur le document que les élèves doivent compléter et explique ce qu'ils observent avant et après l'ajout de HCl.
	Dévolution du champ expérimental à la TTP		
	Scène 1 [21:24 – 28:30]	E31	La TTP explique les manipulations pour préparer les lames et utiliser adéquatement le microscope.
Acte 3 [30:01 - 72:00]	Scène 2 [28:30 30:01]	E32	Les élèves se mettent en action.
	Dévolution du champ expérimental aux élèves		
	Scène 1 [30:01 60:00]	E33	E explique aux élèves ce qu'ils vont observer : «Ce que vous devez voir au microscope, vous devez mettre en évidence des molécules regroupées, avec comme une membrane.» [45:32]
		E34	Les élèves ont de la difficulté, n'observent pas grand-chose et ne savent pas ce qu'ils sont censés voir.
		E35	E précise : «Autour de chaque petite sphère, il est censé y avoir un contour plus foncé. C'est ça vos microsphères.» [46:30]
		E36	Un élève demande à quoi correspondent les tâches qu'ils voient au microscope au début. Il demande si ce

Actes Temps [min-sec]	Scènes ou Épisodes		Étapes de l'activité	
			sont des microsphères.	
		E37	E répond qu'au début on a des molécules dispersées et que l'acide a «obligé à réagir chimiquement et à s'organiser. La forme que ça prend, ça permet d'isoler».	
		E38	L'élève demande si c'est ce phénomène qui forme une membrane.	
		E39	E acquiesce.	
		E40	Les élèves observent des petits points noirs, des bulles d'air, comme des petites graines.	
		E41	Un élève demande si ce qu'il voit est bien des entités.	
		E42	E répond : «C'était pas organisé. Ils étaient dispersés. Le fait d'avoir ajouté de l'acide, ça les a obligés à réagir chimiquement et à s'organiser. La forme que ça prend, ça permet d'isoler.» [52:47]	
	Rédaction du compte-rendu par les élèves			
	Scène 2 [60:00 72:00]	E43	Les élèves travaillent individuellement à leur compte-rendu.	
		E44	Certains élèves se questionnent ce qu'il faut dessiner.	
		E45	Des questionnements surgissent sur l'importance du pH.	
		E46	Certains élèves se demandent ce qu'il faut mettre dans la conclusion.	
		E47	E précise que la conclusion doit répondre aux deux buts initiaux.	
	Épilogue [72:00 - 75:00]	E donne une conclusion que les élèves notent. E demande à un élève de relire sa conclusion		
	Sonnerie – fin de la séance			

ANNEXE N : Canevas de la séance d'observation sur le l'électricité

Actes Temps [min-sec]	Scènes ou Épisodes	Étapes de l'activité	
<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>			

Actes Temps [min-sec]	Scènes ou Épisodes	Étapes de l'activité	
Acte 2 [13:43 - 18:11]	Dévolution du champ expérimental à la TTP		
	Présentation du champ expérimental		
	Scène 1 [13:43 – 18:11]	E11	Projection d'images de composants électriques au TBI
		E12	Présentation des différentes sources de courant continu ou alternatif
		E13	Présentation du matériel mis à la disposition des élèves : fils – interrupteur – ampoules – interrupteur – sources de tension – voltmètre
		E14	Explication étape par étape du montage à réaliser pour l'activité 2
E15		Présentation des symboles des composantes de base d'un circuit (pile, interrupteur, fils, etc.)	
Acte 3 [18:11 - 67:55]	Dévolution du champ expérimental aux élèves		
	Scène 1 [18:11 - 19:15]	E16	E précise aux élèves qu'ils vont fonctionner par défis.
		E17	E présente le premier défi : faire allumer une ampoule avec une pile, une ampoule, et deux fils.
	Scène 2 [19:15 - 25:30]	E18	Les élèves vont chercher leur matériel disposé dans des boîtes sur le plan de travail dans le côté de la classe.
		E19	Les élèves font l'inventaire du contenu de la boîte et sélectionnent le matériel nécessaire : deux fils, une ampoule, une pile.
		E20	Les élèves construisent le circuit rudimentaire pour faire allumer une ampoule.
		E21	Les élèves prennent conscience des problèmes techniques liés aux jonctions.
		E22	Les élèves réalisent leur dessin.
	Retour au champ théorique : E et TTP		
	Scène 3 [25:30 - 26:35]	E23	E insiste sur la nécessité de matériel spécifique.
		E24	E présente la nouvelle source de courant à utiliser.
	Scène 4 [26:35 -	E25	La TTP présente le reste du matériel : fils, interrupteurs, interrupteurs fabrication maison avec 2 attaches parisiennes et un trombone.

Actes Temps [min-sec]	Scènes ou Épisodes	Étapes de l'activité	
	32:49]	E26	La TTP présente les symboles normalisés.
		E27	La TTP présente la possibilité de jonctionner deux fils, ce qu'elle définit comme un nœud de courant.
	Scène 5 [32:49 – 34:32]	E28	E insiste sur la clarté du schéma normalisé pour bien faire comprendre la nécessité de passer de la phase dessin à la phase symbole.
		E29	E invite les élèves à réaliser l'activité 3 qui consiste à transformer le dessin de l'activité 2 en un schéma normalisé.
	Dévolution du champ théorique aux élèves		
	Scène 6 [34:32 - 37:10]	E30	Les élèves ajoutent les noms de composants dans le document.
		E31	Les élèves reprennent leur dessin et le représentent avec les symboles normalisés.
		E32	Les élèves représentent le sens du courant dans le circuit.
	Retour au champ théorique par la TTP		
	Scène 7 [37:10 - 40:17]	E33	La TTP introduit le voltmètre.
		E34	La TTP montre comment réaliser le montage de l'activité 4.
	Nouvelle dévolution du champ expérimental aux élèves		
	Scène 8 [40:17 - 46:04]	E35	Les élèves doivent introduire l'interrupteur dans le circuit.
		E36	Les élèves doivent ajouter l'interrupteur dans leur schéma électrique.
		E37	E et l'aide de laboratoire circulent pour valider – modifier – faire « à la place de » le montage expérimental.
	Scène 9 [46:04 - 52:22]	E38	Les élèves réalisent un deuxième défi : « fabriquer un circuit électrique permettant de faire allumer 2 ampoules ».
		E39	Les élèves représentent le circuit électrique du montage réalisé.
		E40	E présente la consigne 2 de l'activité 5 : « modifier le circuit électrique précédent afin de faire allumer 1 ampoule, même si l'on débranche l'autre ».
	Scène 10 [52:22]	E41	Les élèves réalisent un troisième défi : « modifier le circuit électrique précédent afin de faire allumer 1 ampoule, même si l'on débranche l'autre ».

Actes Temps [min-sec]	Scènes ou Épisodes	Étapes de l'activité	
	62:15]	E42	Les élèves représentent le circuit électrique du montage réalisé.
		E43	E et l'aide de laboratoire circulent pour valider – modifier – faire « à la place de » le montage expérimental.
	Retour au champ théorique effectuée par E		
	Scène 11 [62:15 - 67:55]	E44	E présente les deux types de circuits électriques au TBI (série – parallèle).
		E45	E complète en rouge les mots manquants dans le document.
		E46	Les élèves complètent les mots manquants dans leur document.
Épilogue [67:55 - 70:00]	L'enseignante conclut qu'il existe plusieurs types de circuits électriques. L'enseignante amène les élèves à réfléchir à l'installation électrique domestique : quel type de circuit trouve-t-on dans nos maisons?		

ANNEXE O : Grille d'analyse des niveaux de modélisation (Amato-Imboden et coll., 2012)

Janvier 2014

Groupe focalisé n°2

Activités de modélisation

En Suisse, dans le canton de Genève, la modélisation est désignée comme compétence transversale qui traverse le domaine des Mathématiques et des Sciences de la Nature. Un groupe d'enseignants du secondaire et de formateurs à l'institut universitaire de formation des enseignants (IUFE) s'est donné comme objectifs de définir le concept de modélisation dans l'enseignement de la biologie, d'identifier les principales difficultés affrontées avec les élèves, pour dégager des principes généraux guidant sa mise en œuvre en biologie au secondaire (Amato-Imboden et al., 2012).

Selon les auteurs, « la place des modèles pour organiser, structurer et donner du sens aux observations expérimentales, décrire les mécanismes sous-jacents et prédire les phénomènes n'apparaît qu'en prenant du recul, puisque ces modèles construisent le regard du biologiste sur le monde et qu'il n'en a plus conscience ».

Quand peut-on parler de modèle?

Toutes les situations où le vivant est simplifié, illustré et représenté constituent une situation de modélisation où le vivant est simplifié afin d'être expliqué et compris. Rappelons qu'un modèle en sciences expérimentales est toujours provisoire : ses trois caractéristiques essentielles sont très bien décrites par Martinand (2010) :

Ils sont hypothétiques, ils sont modifiables, ils sont pertinents pour certains problèmes dans certains contextes. (p. 1)

De ces caractéristiques, cependant, apparaît une certaine tension avec le savoir construit dans les institutions scolaires, qui doit prendre une certaine forme « définitive », tout du moins institutionnalisée. Cette tension a conduit les auteurs à distinguer « le modèle mental de chaque élève, le modèle institutionnalisé dans la classe et le modèle de consensus actuel des scientifiques » (Amato-Imboden et al., 2012, p. 2).

Le modèle mental de l'élève est une représentation ou conception, construit par lui pour s'expliquer un phénomène du monde qui l'entoure. De Vecchi et Giordan (1987) définissent ces conceptions comme « ensemble d'images mentales, de modèles, avant qu'une activité quelconque ne débute ». Astolfi et Delevay (1989) rapportent ceci à un « "déjà-là" conceptuel, qui même s'il est faux sur le plan scientifique, sert de système d'explication efficace et fonctionnel pour l'apprenant » (p.31). Un exemple est celui de la position de l'homme dans l'évolution, représenté bien souvent au sommet d'un arbre de l'évolution, et perçu de ce fait comme une créature supérieure. Le modèle scientifique est en fait celui qui résulte d'un consensus dans la communauté scientifique.

Ainsi, dans ce travail conjoint élaboré par les enseignants et des chercheurs de l'université de Genève, c'est plutôt le processus de transformation progressive des modèles auxquels l'élève a recours pour comprendre et prédire le monde qui l'entoure qui intéresse les auteurs, plutôt qu'un modèle « parfait » tout du moins très abouti, qui serait simplement présenté à l'élève, comme représentant du savoir « savant ». Ceci conduit à distinguer les modèles eux-mêmes, d'une activité de modélisation qui est vue comme un processus de construction d'un modèle impliquant des choix d'éléments pertinents et liés avec le problème à l'étude.

Dans cette optique, les auteurs développent des activités concrètes en biologie en entamant une réflexion autour de trois questions :

1. « Quelle est la place de la modélisation en biologie? »
2. « Peut-on accéder à la réalité sans modèle? »
3. « Comment faire évoluer le modèle mental de l'élève vers un modèle à institutionnaliser? » (Amato-Imboden et al., 2012, p. 2)

Un exemple de scénario pédagogique testé en classe a permis d'aborder une réflexion autour de ces trois questions et de donner ainsi quelques principes généraux pouvant soutenir la mise en œuvre d'activités de modélisation en biologie dans la classe. En biologie, un modèle peut être un schéma, une image, un texte, un modèle plastique ou toute représentation qui tend à réduire le degré de complexité à des fins de description, explication, ou prédiction. Il a une validité limitée, temporaire et tente de répondre à une question. Faire de la biologie, c'est faire évoluer des modèles. (Ibid., p. 13)

La démarche adoptée par le groupe de recherche centrée sur l'élaboration d'un modèle mental personnel au regard d'un problème posé. Ces modèles mentaux peuvent être triviaux, erronés et faire obstacle à l'apprentissage (notion de représentations). Alors, le fait de recourir à une activité de modélisation est suggéré comme une avenue prometteuse, permettant de conduire les élèves vers un modèle institutionnel, plus valable sur le plan scientifique. L'enseignant doit donc prendre en considération les modèles mentaux exprimés par les élèves afin de construire une séquence d'enseignement permettant l'évolution de ces divers modèles, vers un modèle qui sera institutionnalisé en classe. Il doit pour cela être capable de distinguer les différents niveaux de modèles utilisés : descriptif, explicatif, prédictif ainsi que le niveau de modélisation demandé à l'élève (1, 2 ou 3).

Les niveaux de modélisation sont définis à partir d'un travail de Dorier et Burgermeister (2013) en mathématiques qui établit une typologie des tâches de modélisation. Les auteurs décrivent la modélisation comme une mise en correspondance de deux systèmes et ils établissent trois niveaux de complexité dans la modélisation.

Janvier 2014

Groupe focalisé n°2

1. Niveau 1 : les deux systèmes sont évoqués dans l'énoncé du problème, mais la résolution de celui-ci ne se fait que dans un des deux systèmes. Ici, l'enjeu de modélisation est faible : on ne revient pas au premier système.
2. Niveau 2 : les deux systèmes sont donnés, le travail consiste dans l'analyse des relations entre les deux systèmes (pertinence du modèle, lien entre les deux systèmes...) : enjeu de modélisation intéressant, car il permet de développer de riches réflexions sur la pertinence et les limites du modèle.
3. Niveau 3 : un seul système est donné, l'élève a la charge d'élaborer un ou plusieurs autres systèmes pour répondre au problème posé. Il est donc nécessaire de s'interroger sur la pertinence du ou des modèles. Enjeu de modélisation élevé : il est de la responsabilité de l'élève de proposer et formaliser un ou plusieurs modèles afin de résoudre le problème et l'interpréter dans le système initial.

Le premier système peut correspondre au réel, ou encore à un premier modèle. Cette typologie est transférée en biologie.

Le travail de l'enseignant consiste donc à :

- a) Proposer un problème qui a du sens sur un sujet donné;
- b) Recueillir les modèles mentaux des élèves à propos de ce problème;
- c) Mettre ces modèles mentaux à l'épreuve, au travers de débats, d'observations, de confrontation avec des observations;
- d) Concevoir des activités permettant l'élaboration et la construction de nouveaux modèles.

Pour un enseignant qui souhaite entrer dans le processus de modélisation :

Les questions suivantes se posent, concernant l'utilisation des modèles :

- Quels sont alors les modèles que l'on peut utiliser pour illustrer un sujet de biologie? Comment simplifier un modèle pour le rendre accessible à nos élèves, sans le dénaturer?
- Comment éviter d'imposer un modèle a priori, produit parfois par les scientifiques pour résoudre d'autres problèmes?
- Quelles modifications pour les faire « coller » aux questions, aux cadres de référence, aux processus d'appropriation des apprenants?

Les questions suivantes se posent, concernant l'utilisation la modélisation :

- Comment faire pour que l'élève s'approprie les instruments nécessaires à la modélisation (symbolisation, schématisation, etc.)?

- Comment orienter la communication pour obtenir un travail effectif de modélisation?
- Comment amener les élèves vers un modèle à institutionnaliser?

Pour comprendre le rôle du modèle, il est important de le construire pour éviter de confondre modèle et « réalité ». C'est la construction du modèle qui permet de faire la distinction entre les deux mondes. Faire modéliser, c'est-à-dire faire construire le modèle par l'élève, lui permet certainement de mieux comprendre le statut du modèle et peut-être aussi de lui faciliter l'accès à une connaissance complexe (Monica Amato-Imboden et coll., 2012, p. 41).

Nous allons nous inspirer de cette démarche pour envisager quelques activités de modélisation possible en classe avec les élèves de troisième ou quatrième secondaire.

Utilisation d'un outil pour analyser les activités de modélisation en classe

Primates & Kummer (2012) proposent un outil pour entrer en réflexion et analyser les activités de modélisation dans les salles de classe. Cet outil favorisera la prise de conscience de l'omniprésence de ces activités qui représentent souvent une difficulté pour les élèves. Ainsi, il sera plus facile de cibler les activités en fonction des enjeux de modélisation visés.

Une des activités de modélisation la plus courante est l'observation, et la réalisation d'un dessin scientifique d'observation. L'observation exige de l'observateur d'extraire les informations utiles en fonction du but de l'observation. Il y a donc lieu de faire un tri. Si ce tri semble aller de soi pour le biologiste, habitué à observer, maîtrisant le concept et connaissant son intention d'observation, son intention de lecture du réel, il reste beaucoup plus délicat pour l'élève qui ne sait peut-être pas quoi observer. Observer ne va pas de soi : cet exercice contient en soi une part de théorie préalable qui guide et soutient toute observation (Bachelard, 2004). Au-delà du dessin, le passage à la description écrite de l'observation contraint l'élève à se justifier en énonçant des critères pertinents par rapport à ses choix. Il fait alors ces allers-retours entre le modèle observé et le modèle institutionnalisé.

Comme dans l'étude d'Amato et al (2012), nous proposons d'utiliser la grille d'analyse à deux dimensions afin de situer les activités de modélisation dans la classe de biologie. Ainsi, dans le domaine descriptif, légèrer un schéma du squelette humain à partir d'une planche anatomique renvoie **au niveau 1**, alors qu'identifier un os isolé à partir de la même planche anatomique relèverait **du niveau 2**.

Le modèle simplifié de l'appareil respiratoire humain qui utilise une cloche de verre fermée par deux ballounes permet de saisir la mécanique de l'acte de respirer. Il se situe dans le **niveau 2**

Janvier 2014

Groupe focalisé n°2

explicatif, car des allers-retours sont nécessaires entre un modèle schéma de l'appareil respiratoire et le modèle maquette utilisée. Lors de ces allers retour, un modèle explicatif plus englobant se construit en même temps que l'on peut discuter avec les élèves des limites de celui-ci.

Le fait de concevoir et construire de manière autonome un schéma de régulation à partir d'un texte relèverait par contre du niveau explicatif 3. Dans le cas où l'élève à partir de son schéma arrive à établir les réactions probables du système, il atteint alors le niveau 3 prédictif.

En conclusion

Nous proposons un outil pour entrer en réflexion et analyser les activités de modélisation dans nos cours. Il permettra de prendre conscience de l'omniprésence de celles-ci, alors qu'elles présentent souvent une difficulté pour les élèves. Ainsi nous pourrions mieux cibler les activités en fonction des enjeux de modélisation visés. Nous serons, en particulier, attentifs aux points suivants, dans la préparation de nos activités :

- Distinguer les représentations mentales des modèles scientifiques
- Définir quel type de modèle scientifique on veut travailler (descriptif, explicatif, prédictif)
- Savoir quel niveau de modélisation (1, 2, ou 3) est demandé à l'élève.

Amato-Imboden et al. (2012) soulignent :

- qu'un modèle est une représentation simplifiée du réel qui permet de décrire, de comprendre et d'expliquer un problème traité,
- que la modélisation est une démarche de construction d'un modèle qui implique des choix d'éléments concernant le problème traité. La modélisation permet la mise en relation de ces éléments,
- que, face à un problème posé, les élèves élaborent des modèles mentaux qui leur sont propres. Ces modèles mentaux sont divers et peuvent faire obstacle à l'apprentissage.

Coulin-Talabot et Zahnd (2012) mettent en évidence l'importance pour l'enseignant :

- d'analyser le type de modèle qu'il utilise : modèle physique, schéma, etc.
- de proposer des modèles qui répondent à la question de la séquence ou de l'activité
- de faire construire partiellement ou complètement le modèle par les élèves.

Bibliographie

- Amato-Imboden, M., Coulin-Talabot, F., Kummer, J., Primatesta, S., Van Tuinen Sabbadini, G., & Zahnd, L. (2012). *La modélisation en biologie, comment la traiter en classe?* (pp. 47). Genève: Université de Genève. Repéré à http://tecfa.unige.ch/perso/lombardf/projets/modelisation/modelisation_en_biologie_brochure-finale.pdf
- Astolfi, J.-P., & Delevay, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris: PUF.
- Coulin-Talabot, F., & Zahnd, L. (2012). Peut-on accéder à la réalité sans modèle? Quels liens entre la réalité, le modèle et la connaissance ? Dans R. Kopp, & F. Lombard (Éds.), *La modélisation en biologie, comment la traiter en classe?* (pp. 37-41).
- Dorier, J.-L., & Burgermeister, P.-F. (2013). La modélisation dans l'enseignement des mathématiques en suisse romande. *petit x*, 91, 5-24. Repéré à <http://www.unige.ch/primas/images/materiel/Burgermeister-Dorier-Petitx.pdf>
- Martinand, J.-L. (2010). Introduction à la modélisation. Repéré à <http://www.inrp.fr/Tecne/Rencontre/Univete/Tic/Pdf/Modelisa.pdf>
- Primatesta, S., & Kummer, J. (2012). La place centrale du modèle dans l'enseignement de la biologie. Dans R. Kopp, & F. Lombard (Éds.), *La modélisation en biologie, comment la traiter en classe?* (pp. 11-22). Genève: Université de Genève.

ANNEXE P : Synopsis de la séance d'observation sur le péristaltisme

Réduction	Activités concernant les modèles et démarches de modélisation
<p>E veut qu'un élève lise la mise en situation présentée à la première page de la SAÉ « le péristaltisme » sur le document qu'il a distribué aux élèves. [0:00:00]</p> <p>Un élève lit la mise en situation. [0:00:44]</p> <p>La mise en situation précise que les élèves auront à construire un simulateur du péristaltisme : « Plusieurs équipes de deux chercheurs ont donc été mandatées pour concevoir un simulateur qui représente le péristaltisme du système digestif du corps humain. » [...] « L'objet technique doit produire un mouvement analogue au péristaltisme ». [0:02:22]</p> <p>E demande aux élèves ce qu'ils vont devoir construire. Il répond lui-même à sa question en montrant un exemplaire déjà construit sur son bureau : « Ce petit modèle de péristaltisme ». [0:03:33]</p> <p>E donne les consignes pour construire l'objet avec les matériaux présents sur le bureau de chaque équipe. [0:03:46]</p> <p>E montre le plan au tableau et donne les consignes techniques pour construire l'objet.</p> <p>E survole l'une après l'autre les cinq tâches qui composent la SAÉ. E demande aux élèves : « On parle de quoi dans la SAÉ? » Les élèves répondent qu'il s'agit du péristaltisme. [0:04:22]</p> <p>E précise que cela pourra leur servir pour leurs révisions pour l'examen qui a lieu quelques jours plus tard. [0:06:26]</p> <p>E précise que la tâche 3 consiste en la réalisation d'un croquis de l'objet représenté et qu'il n'y a pas besoin de mesures.</p> <p>E dit à propos de la tâche 5 qui aborde les forces et faiblesses du modèle : « vous êtes capables en lisant de trouver les réponses ».</p> <p>E précise quelques consignes de sécurité par</p>	<p>La mise en situation précise que les élèves auront à construire un simulateur du péristaltisme : « concevoir un simulateur qui représente le péristaltisme du système digestif du corps humain » [...] « L'objet technique doit produire un mouvement similaire au péristaltisme ».</p> <p>E introduit le terme « modèle » en demandant aux élèves ce qu'ils vont devoir construire. Il répond lui-même à sa question en montrant un exemplaire déjà construit sur son bureau : « Ce petit modèle de péristaltisme ».</p> <p>E ne s'attarde pas aux forces et faiblesses du modèle.</p>

<p>rapport à l'utilisation des outils.</p> <p>E lance les élèves dans la manipulation. [0 h 31 min 25 s]</p> <p>Les élèves préparent le travail de tracé et de découpe.</p> <p>E intervient de façon sporadique sur la découpe, la façon de placer les morceaux pour avoir le moins de découpes à faire et perdre le moins de bois possible.</p> <p>Une élève pose une question « Comment on fait pour le faire vomir si on n'a pas le droit de toucher aux choses de la bille? »</p> <p>E répond : « Tu as le droit d'y toucher, c'est juste que ça ici c'est la partie de départ : c'est la bouche. »</p> <p>Une élève se questionne sur la différence entre un schéma de principe et un schéma de conception.</p> <p><i>Fin de la première séance</i></p>	<p>Un élève soulève une question concernant les forces et limites du modèle :</p> <p>« Comment on fait pour le faire vomir si on n'a pas le droit de toucher aux choses de la bille? »</p> <p>La réponse d'E ne prend pas en considération la notion de limite du modèle.</p>
<p>E demande aux élèves de reprendre où ils en étaient la séance précédente. Il précise : « Vous savez ce que vous avez à faire, tout ce qui vous reste aujourd'hui c'est continuer ».</p> <p>Les élèves reprennent leur travail là où ils l'avaient laissé à la séance précédente.</p> <p>Certains sont à la fabrication, d'autres à la rédaction du document. Ils circulent entre la salle de laboratoire et la salle de découpe.</p> <p>E circule et donne surtout des consignes sur les détails techniques de construction.</p> <p>E aide à compléter le document sur les étapes de la digestion et le rôle de chaque organe, comme le pharynx.</p> <p>E ferme la séance en demandant de réviser pour l'examen du lendemain.</p>	<p>Le tableau représenté sur le document pourrait faire fonction de modèle.</p>

ANNEXE Q : Synopsis de la séance d'observation sur les pluies acides

Réduction	Activités concernant les modèles et démarches de modélisation
<p>E [0:00:00] prend la parole pour expliquer le déroulement de la séance du jour.</p> <p>E commence par une série de questionnements pour activer ce qui a été vu lors de la séance précédente. Les élèves répondent à tour de rôle.</p> <p>E [0:03:00] demande aux élèves ce qu'est l'effet de serre.</p> <p>Un élève répond que c'est un processus naturel qui permet de retenir sur Terre une partie de la chaleur envoyée par le soleil.</p> <p>E [0:03:39] demande aux élèves quels sont les 4 gaz qui participent à l'effet de serre. À tour de rôle, les élèves nomment le méthane, CH_4; le dioxyde de carbone, CO_2; la vapeur d'eau, H_2O; les oxydes nitreux, NO_x.</p> <p>E [0:04:38] demande ensuite quelles sont les trois étapes qui permettent d'expliquer l'effet de serre.</p> <p>Un élève répond que le soleil envoie ses rayons.</p> <p>E ajoute que ces rayons viennent réchauffer le sol. Un autre élève dit : « ça rebondit » et E demande à ce que cela soit exprimé avec de vrais mots.</p> <p>E demande alors de décrire la deuxième étape.</p> <p>Un élève [0:05:10] dit que le sol émet des rayons infrarouges.</p> <p>E [0:05:10] cautionne et commence un dessin au tableau pour accompagner les explications.</p> <p>E [5 h 10 – 6 h 10] récapitule les deux premières étapes : le soleil envoie ses rayons jusqu'au sol, qui les absorbe, puis le sol va renvoyer la chaleur, vers l'univers.</p> <p>E demande ensuite aux élèves de lui décrire la troisième étape.</p> <p>Un élève répond qu'elle concerne les gaz à effet de serre qui retiennent la chaleur.</p> <p>E approuve et complète son dessin. [6 h 10]</p> <p>Les élèves prennent le dessin dans leur cahier Canada.</p>	<p>Modélisation de l'énergie lumineuse par le modèle du rayon lumineux</p> <p>Modélisation de l'effet de serre :</p> <ul style="list-style-type: none"> – par une description du phénomène – par un dessin du phénomène

Réduction	Activités concernant les modèles et démarches de modélisation
<p>E demande le nom du rayonnement concerné et un élève nomme le rayonnement infrarouge.</p> <p>E précise qu'une partie de ce rayonnement va se perdre dans l'univers, tandis qu'une autre partie va favoriser le réchauffement de l'atmosphère.</p> <p>E explique ainsi que ce rayonnement transporte de la chaleur tandis que les rayonnements UV nocifs pour la peau sont arrêtés par la couche d'ozone.</p> <p>E précise que ce phénomène d'effet de serre est un phénomène naturel, mais que les activités humaines ont tendance à favoriser l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre et donc le réchauffement climatique.</p> <p>E [0:07:19] demande alors à la classe de lui nommer les sources de gaz à effet de serre d'origine naturelle et celles d'origine artificielle qui proviennent donc des activités humaines. Les sources naturelles sont d'abord évoquées.</p> <p>Les élèves, à tour de rôle, citent les marécages, la digestion pour le méthane.</p> <p>E précise qu'il s'agit de la décomposition de la matière organique.</p> <p>Les élèves évoquent les feux de forêt, les volcans, la respiration, pour le CO₂. Puis, les bactéries pour les oxydes nitreux.</p> <p>E [0:09:19] demande alors quelles sont les activités humaines qui s'ajoutent à ces sources naturelles.</p> <p>Les élèves envisagent les productions animales et la décomposition des ordures pour le méthane; le déboisement des forêts et la combustion des combustibles fossiles pour le CO₂; l'utilisation massive d'engrais pour les oxydes nitreux.</p> <p>E [0:09:50] demande ensuite aux élèves de sortir leur cahier d'activités (pp.165- 167) afin de corriger les exercices.</p> <p>E pose les questions des exercices et les élèves répondent à tour de rôle.</p>	<p>Modélisation du processus de formation des pluies acides à l'aide d'une expérience réalisée au laboratoire</p>

Réduction	Activités concernant les modèles et démarches de modélisation
<p>E apporte parfois quelques précisions.</p> <p>E [0 h 15 min 30 s] annonce ensuite que l'activité de laboratoire va pouvoir commencer.</p> <p>E demande aux élèves de s'installer par équipes de 2 dans la salle de laboratoire, devant un montage déjà préparé.</p> <p>E distribue les documents.</p> <p>E [0 h 19 min 20 s] présente le laboratoire comme « quelque chose de concret et d'intéressant » sur la pollution atmosphérique et qui va aborder le processus de formation des pluies acides.</p> <p>E rappelle les élèves à l'ordre.</p> <p>E [0 h 19 min 58 s] précise qu'il s'agit d'une problématique environnementale qui touche à la fois l'eau, l'équilibre du sol et l'air.</p> <p>E [0 h 20 min 34 s] questionne ensuite les élèves sur les gaz responsables de la formation des pluies acides, puisque ces éléments ont été vus lors de la séance précédente.</p> <p>Les élèves répondent les NO_x et le SO₂.</p> <p>E [0 h 20 min 45 s] demande d'où proviennent ces gaz. Un élève répond qu'ils proviennent des combustibles fossiles et E précise que c'est plutôt de la combustion des combustibles fossiles comme le pétrole.</p> <p>E [0 h 21 min] donne en exemple les centrales thermiques qui brûlent des combustibles fossiles pour produire de l'énergie.</p> <p>E [0 h 21 min 20 s] explique ensuite l'objectif du laboratoire, qui est « de se mettre dans les conditions, comme si on avait de petites minicentrales au charbon. On va donc produire des pluies acides parce qu'on va faire brûler des combustibles qui vont dégager du SO₂ et en les mettant en contact avec la vapeur d'eau, on va voir qu'il y a formation d'eau acide. Donc, on reproduit un peu une minicentrale thermique. C'est ça qu'on doit s'imaginer ».</p> <p>[0 h 21 min 46 s]</p> <p>E [0 h 21 min 55 s] aborde ensuite les questions</p>	<p>Modélisation du processus de formation des pluies acides à l'aide des réactions des transformations chimiques envisagées</p>

Réduction	Activités concernant les modèles et démarches de modélisation
<p>de la première partie du laboratoire « critères d'observation » en interrogeant les élèves et en apportant parfois des corrections, des précisions ou en donnant la réponse en cas de nouvelles notions.</p> <p>E [0 h 23 min 36 s] demande aux élèves de noter que c'est la présence de CO₂ qui est responsable des pluies acides.</p> <p>E demande aux élèves de répondre à la question : « Quels sont les principaux polluants atmosphériques qui causent les pluies acides? »</p> <p>Les élèves citent SO₂ et NO_x, ce que E écrit au tableau en indiquant la cause des procédés industriels; et la question 4 : « De quelle façon une combustion de substance acidifie-t-elle l'eau? »</p> <p>E [0 h 25 min 36 s] explique que « la formation des pluies acides est une réaction chimique qui se produit dans l'atmosphère », puis écrit au tableau les équations bilans correspondantes en commentant au fur et à mesure : « Ça se fait en deux étapes. Le soufre qui fait partie du SO₂ va avoir une réaction chimique avec le dioxygène de l'air et cela va produire le SO₃. Puis, l'autre étape, le SO₃ formé va réagir avec encore le dioxygène de l'air pour former du SO₃. Pourquoi j'ai mis ½ là? Pour que mon équation soit balancée ou équilibrée. Finalement, le SO₃ va réagir chimiquement avec la vapeur d'eau de l'air et là, il va y avoir formation de l'acide sulfurique, alors pourquoi il y a des pluies acides? Parce qu'il y a des réactions chimiques qui se produisent et ces pluies acides vont retomber sur nous. Au Québec, on a longtemps été victimes de ces phénomènes-là. »</p> <p>[0 h 27 min 30 s]</p> <p>E [0 h 27 min 40 s] rappelle le fonctionnement du brûleur au gaz et les consignes de sécurité.</p> <p>[0 h 29 min 20 s]</p> <p>Puis, la TTP [0 h 30 min 5 s] donne des explications techniques sur la manipulation et</p>	

Réduction	Activités concernant les modèles et démarches de modélisation
<p>les règles de sécurité à respecter. [0 h 34 min 30 s]</p> <p>E [0 h 34 min 30 s] reprend la parole et montre les différents constituants du montage en identifiant ZnS comme le polluant qui est chauffé afin que le soufre se dégage dans la seringue.</p> <p>E [0 h 35 min 12 s] explique que le fait de pousser le piston de la seringue va envoyer le gaz produit en contact avec l'eau qui va s'acidifier.</p> <p>E [0 h 35 min 36 s] insiste sur le fait que c'est l'eau colorée par l'indicateur qu'il faut regarder afin d'observer le changement de couleur de l'indicateur qui montre l'acidification de la solution.</p> <p>La TTP [0 h 35 min 45 s] décrit le protocole et le montage.</p> <p>E [0 h 35 min 29 s] demande aux élèves de bien prendre la mesure du pH avant et après la réaction à l'aide du papier tournesol.</p> <p>E [0 h 40 min 5 s] autorise les élèves à commencer l'expérience.</p> <p>Les élèves réalisent l'expérience en suivant le protocole. Ils complètent le document en notant les observations – couleur de la solution et papier pH avant et après la réaction. [1:03:55]</p> <p>Les élèves rédigent ensuite l'analyse pour laquelle E précise qu'il faut écrire dans cette partie « les données du tableau de résultats, mais en mots. On exprime cela dans une phrase ».</p> <p>Puis E [1:05:38] demande aux élèves dans la conclusion de faire une synthèse du but en s'aidant des critères d'observation.</p> <p>Les élèves terminent leur travail et quittent la salle lorsque la sonnerie retentit. [1:08:55]</p>	

Réduction	Activités concernant les modèles et démarches de modélisation
<p>E invite ensuite un autre élève à reprendre la lecture. Un élève lit : [0:08:54] « Les pages suivantes présentent des étapes de l'évolution biochimique de la matière sur notre planète qui sont généralement admises. Pour en faciliter la compréhension, elles sont présentées selon une équation de type $A + B = C$. Chacune peut être interprétée de la façon suivante : Quel élément de départ A, soumis à quelle condition B, ont permis d'obtenir les produits C. Vous trouverez aussi de l'information sur les chercheurs qui tentent de prouver la faisabilité de ces étapes. »</p> <p>E [0:09:20] précise que pour l'activité du jour, les étapes A, B, C seront envisagées.</p> <p>E [0:09:55] invite ensuite les élèves à regarder la page 26 de leur document et le tableau intitulé « Évolution biochimique de la matière ».</p> <p>E [0:10:20] présente la première étape. Elle précise que les théories actuelles avancent que la vie a pris naissance dans un océan primitif et que toutes sortes de réactions chimiques aléatoires ont permis l'apparition des premières molécules organiques, puis des protocellules qui ont pu conduire aux premières formes de vie.</p> <p>E présente ces étapes aux élèves comme une progression qui a commencé par des phénomènes chimiques.</p> <p>E propose aux élèves un résumé plus simple que ce qui est présenté dans le volume en réduisant la soupe initiale à quelques atomes légers et des gaz simples qu'elle a représentés par ces symboles qui peuvent correspondre à CO_2 ou H_2O. Elle précise que : « On veut juste représenter que la croûte terrestre emprisonne des gaz chauds avec des phénomènes comme des activités volcaniques très intenses et la création d'une atmosphère primitive par les gaz rejetés par la croûte terrestre. »</p> <p>E [0 h 13 min 14 s] présente alors la deuxième étape qui envisage la formation des molécules de base (lipides, protides glucides, acides aminés, bases azotées, sucres).</p> <p>E [0 h 13 min 53 s] précise que les petites structures</p>	<p>Explication qui modélise les premières étapes de l'apparition de la vie sur Terre</p> <p>Modèle de l'océan primitif</p> <p>Modèle de la soupe initiale</p> <p>Modèle de l'atmosphère primitive</p> <p>Modèle des molécules de base</p> <p>Modèle analogique : analogie avec le mélange non miscible huile – eau pour expliquer les entités qui se ferment et s'isolent du milieu</p>

Réduction	Activités concernant les modèles et démarches de modélisation
<p>dessinées représentent les sucres et sont des molécules cycliques.</p> <p>E [0 h 14 min 30 s] explique que dans cet océan primitif on va trouver de grosses molécules insolubles. Un élève demande une précision sur ces molécules insolubles.</p> <p>E explique que cela fait comme lorsque l'on met de l'huile dans l'eau, que celle-ci se regroupe et que donc, les molécules insolubles ont tendance à se regrouper.</p> <p>E [0 h 16 min 45 s] envisage ces réactions comme une progression d'atomes vers des molécules simples, puis des molécules plus complexes, qui ont pu se regrouper puis s'isoler pour former des entités qui ont elles-mêmes pu évoluer vers des structures plus complexes.</p> <p>E illustre ces propos avec des petits dessins.</p> <p>E [0 h 19 min 33 s] : « Les molécules prébiotiques sont les molécules qui ont précédé les molécules qui forment le vivant. Biotique c'est le vivant. Aujourd'hui ce qu'on va faire en laboratoire, on va expliquer ce qu'on veut représenter par ce laboratoire-là.... »</p> <p>Un élève pose une question [0 h 20 min 7 s] : « Madame, les dessins est-ce qu'il faut qu'ils soient vraiment exacts, parce que moi ils ne sont pas beaux ».</p> <p>E répond qu'il suffit que l'élève puisse les reconnaître et qu'une grande précision n'est pas demandée.</p> <p>E [0 h 20 min 53 s] demande aux élèves s'ils ont terminé de remplir leur document et elle leur propose de s'installer pour commencer l'activité de laboratoire qu'elle va d'abord leur présenter.</p> <p>E [0 h 21 min 24 s] explique qu'en laboratoire, les élèves vont recréer des microsphères ou coacervats, qui représentent des macromolécules isolées du milieu. Des molécules complexes séparées les unes des autres ont pu, dans certaines conditions que l'on suppose, se regrouper, s'isoler du milieu et arriver à une certaine organisation. « Donc ce qu'on veut faire, c'est comme les scientifiques font. Un</p>	<p>Modélisation d'une des premières étapes de la vie par la réalisation d'une expérience de laboratoire</p> <p>Modèle de la cellule</p> <p>Modélisation d'une des premières étapes de la vie par la réalisation d'une expérience de laboratoire</p> <p>Fonction de représentation</p>

Réduction	Activités concernant les modèles et démarches de modélisation
<p>scientifique, ça admet que quelque chose est vrai quand il est capable de le prouver. »</p> <p>E explique que les élèves vont utiliser des molécules complexes déjà préparées par la TTP.</p> <p>E [0 h 22 min 1 s] précise que le but est de voir que dans certaines conditions, ces molécules s'organisent et que cette organisation pourrait être un élément précurseur ayant permis la vie va s'organiser.</p> <p>« Donc aujourd'hui, c'est comme une démonstration de cette étape-là que l'on va faire. Puis, jusqu'à cette étape-là, c'est admis, c'est après qu'on a de la misère à savoir ce qui s'est passé. Mais ce modèle-là tend à croire que ça a pu arriver comme cela et que ça a mené vers l'apparition des premières cellules. »</p> <p>E [0 h 22 min 44 s] questionne les élèves sur le nom des premières cellules. Un élève dit</p> <p>« Eucaryotes ».</p> <p>E le corrige en disant que le <i>pro</i> de procaryotes signifie avant, ou ce qui précède.</p> <p>E [0 h 23 min 1 s] précise que ce sont « des cellules qui n'ont pas de noyau, mais un peu d'ADN à l'intérieur et des petits organites qui vont faire les étapes du vivant ».</p> <p>E [0 h 24 min] dicte les deux buts du laboratoire et les élèves les notent dans leur protocole.</p> <p>(E écrit au tableau et les élèves recopient sur leur document en page 27)</p> <p>1 ° but [0 h 25 min 30 s] : Vérifier expérimentalement la faisabilité d'une étape ayant favorisé l'apparition de la vie sur la Terre.</p> <p>(E arrête d'écrire et dicte aux élèves)</p> <p>2 ° but : Trouver qu'à partir de certains produits, dans certaines conditions, des molécules peuvent former des entités organisées qui s'isolent du milieu par une membrane. [0 h 26 min 40 s]</p> <p>E [0 h 26 min 45 s] précise que la rédaction de la conclusion devra permettre de répondre à ces deux objectifs.</p> <p>E demande aux élèves de se référer ensuite à la page 110 de leur manuel.</p> <p>E présente ensuite les substances qui vont être</p>	

Réduction	Activités concernant les modèles et démarches de modélisation
<p>utilisées et qui représentent les trois sortes de molécules utilisées. « La gomme arabique est un sucre, la gélatine est une protéine et l'acide c'est pour reconstituer l'acidité du milieu tel qu'il était à ce moment-là. »</p> <p>E [0 h 28 min 35 s] donne des précisions sur le document que les élèves doivent compléter en expliquant qu'ils doivent dessiner ce qu'ils voient avant l'ajout de HCl dans le premier cercle et ce qu'ils observent après l'ajout de HCl, dans le deuxième cercle.</p> <p>La TTP explique les manipulations pour préparer les lames. Les élèves se mettent en action. [0 h 30 min].</p> <p>Les élèves se mettent en action. [0 h 33 min 1 s]</p> <p>E [0 h 45 min 32 s] explique aux élèves ce qu'ils vont observer : « Ce que vous devez voir au microscope, vous devez mettre en évidence des molécules regroupées, avec comme une membrane. »</p> <p>Les élèves ont de la difficulté :</p> <p>e : « On n'observe pas grand-chose. De la gomme arabique avec de la gélatine. On ajoute l'acide. »</p> <p>e : « Je ne vois pas grand-chose. »</p> <p>e : « Je ne sais pas si c'est ça qu'on est censé voir. »</p> <p>E précise [0 h 46 min 30 s] : « Autour de chaque petite sphère, il est censé y avoir un contour plus foncé. C'est ça vos microsphères. »</p> <p>Un élève demande à quoi correspondent les taches qu'ils voient au microscope au début. Il demande si ce sont des microsphères.</p> <p>E répond qu'au début on a des molécules dispersées et que l'acide a « obligé à réagir chimiquement et à s'organiser. La forme que ça prend, ça permet d'isoler ».</p> <p>L'élève demande si c'est ce phénomène qui forme une membrane. E acquiesce.</p> <p>Les élèves observent :</p> <p>e : « On observe des petits points noirs. »</p> <p>e : « On voit qu'il y a des bulles d'air. »</p> <p>e : « On voit comme des petites graines. »</p>	

Réduction	Activités concernant les modèles et démarches de modélisation
<p>Un élève [0 h 52 min 44 s] demande « mais là ce que l'on voyait, est-ce que c'était des entités? »</p> <p>E [0 h 52 min 47 s] répond : « C'était pas organisé. Ils étaient dispersés. Le fait d'avoir ajouté de l'acide, ça les a obligés à réagir chimiquement et à s'organiser. La forme que ça prend, ça permet d'isoler. »</p> <p>Les élèves travaillent individuellement à leur compte-rendu.</p> <p>« Qu'est-ce que je dois dessiner? »</p> <p>« C'est quoi l'importance du pH? »</p> <p>« Je ne sais pas quoi mettre dans ma conclusion. »</p> <p>E [0:60 : 20] précise que la conclusion doit répondre aux deux buts initiaux.</p> <p>E attend que tout le monde ait terminé, puis E donne une conclusion que les élèves notent.</p> <p>E demande à un élève de relire sa conclusion :</p> <p>e [0:72 : 00] : « Nous devons vérifier la faisabilité d'une étape ayant favorisé l'apparition de la vie sur la Terre et prouver qu'à partir de certains produits, les molécules peuvent former des entités organisées qui s'isolent du milieu par une membrane. Pour ce faire, nous avons mélangé de la gomme arabique, de la gélatine et de l'acide chlorhydrique pour montrer l'état des molécules sans acide, puis nous avons ajouté de l'acide chlorhydrique et nous avons observé la formation d'une sorte de membrane. Nous pouvons conclure qu'en milieu acide, les molécules peuvent former des entités organisées. »</p>	
<p><u>Quelques réponses d'élèves aux questions de C avant l'ajout de l'acide :</u></p> <p>« On n'observe pas grand-chose. De la gomme arabique avec de la gélatine. On ajoute l'acide. »</p> <p>« Je ne vois pas grand-chose. »</p> <p>« Je ne sais pas si c'est ça qu'on est supposé voir. »</p> <p>« On observe des petits points noirs. »</p> <p>« On voit qu'il y a des bulles d'air. »</p> <p>« On voit comme des petites graines. »</p> <p>« Qu'est-ce que je dois dessiner? »</p>	

Réduction	Activités concernant les modèles et démarches de modélisation
<p><u>Ajout de l'acide chlorhydrique :</u></p> <p>« On peut dire que les molécules flottent. » [52-00]</p> <p>« On n'a rien vu. Ça a donné la même affaire qu'avant. On ne sait pas pourquoi. »</p> <p>« Ça forme des amas. »</p> <p>« C'est quoi l'importance du pH? »</p>	

ANNEXE S : Synopsis de la séance d'observation sur le l'électricité

Réduction	Activités reliées aux modèles et démarches de modélisation
<p>E [0:00:00] prend la parole pour expliquer le déroulement de la séance du jour : « La séance d'aujourd'hui s'intitule <i>Du réel au modèle</i>. On va donc partir de nos circuits électriques qu'on va construire et on va essayer de les représenter sur la feuille par des schémas. »</p> <p>E [0:04:00] distribue aux élèves le document « Atelier sur les circuits électriques » qu'elle projette en même temps au TNI. « On va travailler dessus. On va voir des symboles et on va commencer à se demander à quoi ça sert de représenter des circuits électriques. »</p> <p>E [0:04:55] projette sur le TNI le schéma d'un vieux poste de radio Marconi en guise d'introduction à la nécessité d'utiliser des schémas de circuits électriques. « Là ce que je vous projette c'est un poste Marconi. Et ce qu'on voit, ça représente les circuits électriques qui sont dans le poste. C'est un modèle des circuits électriques dans l'appareil. Avec ça, on est censé comprendre comment il fonctionne et même le fabriquer, et savoir changer les morceaux qui peuvent tomber en panne. »</p> <p>E [0:06:43] fait des rappels de la séance précédente qui portait sur l'électricité statique en expliquant la différence entre l'électricité statique et dynamique.</p> <p>« Dans l'électricité statique, on a vu que l'on pouvait arracher des électrons à un objet, qui devenait chargé positivement, mais que cela ne durait pas. Aujourd'hui, on va faire circuler un courant dans des circuits électriques pour faire allumer des ampoules. »</p> <p>E [0:09:57] introduit la différence entre courant alternatif et continu.</p> <p>E lit : « Le courant peut être continu ou alternatif, tout dépend de la façon dont les électrons circulent dans le circuit. »</p> <p>E explique [0:10:33] : « Dans le courant continu, les électrons vont toujours dans le même sens. [...] Alors, vous complétez par les flèches comme celles en rouge sur le tableau [...]. Dans le courant alternatif, ils vont tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre sens [...] Vous complétez votre document comme au tableau. Et le courant alternatif ou continu, ça va dépendre de la source qui produit le courant. Dans nos maisons, ce qui arrive des barrages hydroélectriques, c'est du courant alternatif parce que c'est le mode de production de l'hydroélectricité. »</p>	<p>Représentations des circuits électriques</p> <p>Représentations des composants de circuits électriques</p> <p>Schéma de principe d'un poste radio</p> <p>Modèle de l'électron</p> <p>Modélisation du courant continu et du courant alternatif</p>

Réduction	Activités reliées aux modèles et démarches de modélisation
<p>Les élèves complètent leur document au fur et à mesure en ajoutant les éléments dans les espaces réservés, au fur et à mesure que l'enseignante les complète au TNI.</p> <p>E [0 h 15 min 33 s] invite tout d'abord l'aide de laboratoire à présenter le matériel.</p> <p>La TTP présente des piles, des batteries, des alimentations 6/12V.</p> <p>E [0 h 20 min 4 s] invite les élèves à commencer l'activité 1 et à aller chercher le matériel.</p> <p>E [0 h 20 min 13 s] précise aux élèves qu'aujourd'hui ils vont fonctionner par défis. Elle présente le premier défi : « Donc, le premier défi, il est simple, c'est de faire allumer une ampoule avec le matériel que vous avez sur votre table : une pile, une ampoule, et deux fils. Puis de le dessiner dans votre document. »</p> <p>Les élèves [0 h 22 min 53 s] manipulent et rencontrent des difficultés pour faire jonctionner correctement les fils à la pile.</p> <p>Les élèves [0 h 27 min 30 s] réalisent leur dessin.</p> <p>La TTP [0 h 30 min 35 s] présente le reste du matériel. : fils, interrupteurs, interrupteurs fabrication maison avec 2 attaches parisiennes et 1 trombone.</p> <p>La TTP [0 h 33 min 35 s] présente les symboles normalisés et la possibilité de jonctionner 2 fils, ce qu'elle définit comme un nœud de courant.</p> <p>E [0 h 35 min 19 s] insiste sur la clarté du schéma normalisé pour bien faire comprendre la nécessité de passer de la phase dessin à la phase symbole, et les élèves complètent le document.</p> <p>E [0 h 37 min 58 s] invite les élèves à réaliser l'activité 3 qui consiste à transformer le dessin de l'activité 2 en un schéma normalisé.</p> <p>E invite les élèves à utiliser une règle pour tracer les fils électriques proprement.</p> <p>Les élèves complètent leur document au fur et à mesure.</p> <p>La TTP [0 h 43 min 34 s] introduit le voltmètre et explique avec beaucoup de détails (monstration) comment réaliser le montage de l'activité 4, où il y a lieu d'ajouter un interrupteur dans le circuit.</p> <p>Les élèves [0 h 36 min 58 s] modifient le montage précédent et le dessinent avec les symboles normalisés en reprenant le dessin précédent et intercalant l'interrupteur entre deux jonctions.</p>	<p>Représentation du circuit électrique construit par un dessin. Passage du concret à l'abstrait. Symbole normalisé. Passage du concret à l'abstrait.</p> <p>Représentation d'un nœud de courant. Passage du concret à l'abstrait.</p> <p>Représentation du circuit électrique construit par un schéma. Passage d'un mode de représentation à un autre. Passage du concret à l'abstrait.</p> <p>Représentation du circuit électrique construit par un schéma. Passage du concret à l'abstrait.</p>


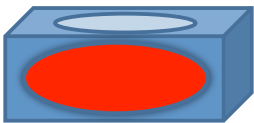
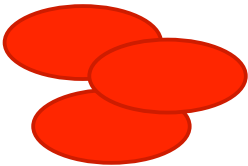
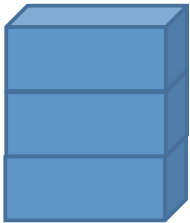
Réduction	Activités reliées aux modèles et démarches de modélisation
<p>E [0 h 42 min] présente l'activité 5 :</p> <p>« Maintenant, on va compliquer un peu les choses. Il va falloir faire allumer deux ampoules dans les activités 5. On a vu dans notre petit circuit que si on débranchait un fil, l'ampoule s'éteint. Pour que le courant circule dans tout le circuit, il faut que ça fasse une boucle et que le circuit soit fermé pareil avec l'interrupteur : quand on ouvre l'interrupteur, on ouvre le circuit, le courant ne circule plus et l'ampoule s'éteint. Donc vous allez faire un circuit électrique qui va permettre de faire allumer deux ampoules. Par contre, dans le deuxième circuit, je veux qu'il y ait une ampoule qui reste allumée même si je débranche l'autre. Alors là il va falloir réfléchir un petit peu. »</p> <p>Les élèves construisent d'abord le premier circuit en intercalant une ampoule dans le circuit précédent. Ils représentent le schéma du montage.</p> <p>Puis, ils essaient de réaliser la consigne 2. Certains y arrivent. Les élèves ont peu de temps, car la séance se termine bientôt. La TTP aide fortement et a tendance à « faire à la place de » ceux qui rencontrent plus de difficultés.</p> <p>Je demande à un groupe de garçons de m'expliquer leur démarche. [0 h 48 min]</p> <p>é : « Ben, on a comme fait deux boucles pour qu'y a toujours du courant qui circule dans une même si on arrête l'autre. »</p> <p>E clôt la séance en présentant aux élèves les activités qui restent dans le document et qui seront envisagées la prochaine fois : « Ça va être l'heure alors on va terminer sur l'activité 6 et votre manuel page 187. Vous allez compléter le tableau et identifier les différents symboles utilisés en électricité. La prochaine fois, on va terminer le document. On va faire le contraire, on va partir du modèle pour aller au réel. On va donc partir du schéma pour aller vers le montage. »</p> <p>[0 h 50 min]</p> <p>Fin de la séance</p>	<p>Représentation du circuit électrique construit par un schéma. Passage du concret à l'abstrait.</p> <p>Représentation d'un circuit avec dérivation</p> <p>Utilisation d'une représentation d'un circuit électrique pour construire le circuit. Passage de l'abstrait au concret.</p>

LISTE DES APPENDICES

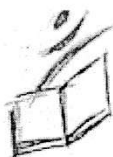
	Pages
Appendices A	Modèle de la cellule présenté par l’enseignante E4 362
Appendice B	Documents relatifs à la SAÉ sur le péristaltisme distribués aux élèves lors de la séance d’observation – 2014-01-17 & 20 – Quatrième secondaire 363
Appendice C	Documents de révision distribués lors de la séance d’observation sur le péristaltisme – 2014-01-17 & 20 – Quatrième secondaire 371
Appendice D	Documents relatifs à l’activité de laboratoire sur les pluies acides distribués aux élèves lors de la séance d’observation sur les pluies acides – 2014-01-31 – Quatrième secondaire 377
Appendice E	Documents relatifs à l’activité de laboratoire sur les coacervats distribués aux élèves lors de la séance d’observation du 2014-01-31 sur les origines de la vie – les coacervats – Cinquième secondaire 382
Appendice F	Documents relatifs à l’atelier sur les circuits électriques distribués aux élèves lors de la séance d’observation du 2014-03-14 – Quatrième secondaire 385
Appendice G	Document technique sur un poste radio Marconi projeté aux élèves lors de la séance d’observation du 2014-03-14 – Quatrième secondaire 386
Appendice H	Certification éthique 393
Appendice I	Lettre de présentation du projet aux enseignants 394
Appendice J	Lettre de consentement pour les enseignants 396
Appendice K	Lettre de remerciements et invitation à la présentation des données 399

Appendice A : Modèle de la cellule présenté par l'enseignante E4

ACTIVITÉ DE MODÉLISATION : Distinction entre la membrane cellulaire et la paroi cellulosique.

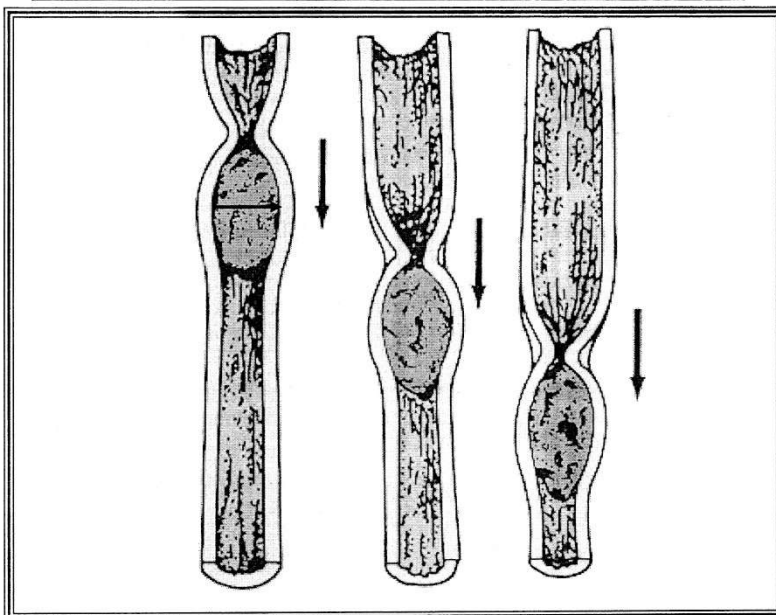
<p>Étape 1 :</p> <p>Remplir une boudruche d'eau.</p> <p><u>Explication</u> : La membrane cellulaire peut être comparée à la membrane de caoutchouc d'une boudruche. Cette membrane est souple et c'est elle qui est responsable des échanges entre la cellule et son milieu extérieur.</p> <p>Cette boudruche remplie d'eau est comparable à une cellule animale.</p>	
<p>Étape 2 :</p> <p>Placer la boudruche dans une boîte de papier mouchoir.</p> <p><u>Explication</u> : La paroi cellulosique peut être comparée au carton de la boîte. Cette membrane rigide permet aux cellules végétales de conserver leur forme géométrique caractéristique.</p> <p>En effet, les cellules végétales possèdent 2 membranes cellulaires, une membrane cytoplasmique (boudruche) et une paroi cellulosique (boîte de carton).</p>	
<p>Étape 3 :</p> <p>Empilement de cellules animales.</p> <p><u>Explication</u> : Vous constaterez qu'il est difficile d'empiler plusieurs cellules animales, car la seule membrane cellulaire est molle.</p> <p>Les plus grands animaux vivent souvent dans l'eau, car la vie serait impossible pour eux sur la terre.</p>	
<p>Étape 4 :</p> <p>Empilement de cellules végétales.</p> <p><u>Explication</u> : Vous constaterez qu'il est très facile d'empiler plusieurs cellules végétales, car la paroi cellulosique est rigide.</p> <p>C'est cette membrane rigide qui permet aux végétaux d'atteindre des hauteurs inégalées au sein du monde vivant. Par exemple, le Séquoia géant.</p>	

Appendice B : Documents relatifs à la SAÉ sur le péristaltisme distribués aux élèves lors de la séance d'observation – 2014-01-17 & 20 – Quatrième secondaire



École secondaire de l'Odyssée/ DOMINIQUE-RACINE

Situation d'apprentissage et d'évaluation



Le péristaltisme

Nom : _____

Nom : _____

Groupe : _____

Date : _____

C1 : _____

C2 : _____

C3 : _____

RÉSULTAT

SAÉ : Le péristaltisme

MISE EN SITUATION

La maison de production Cinémaniac investit un million de dollars dans la conception d'un nouveau dessin animé dont l'action se déroule dans un corps humain. Selon le synopsis du film, deux aventuriers interprétant le rôle de nutriments voyageront dans l'organisme humain, soit dans le système digestif en particulier.

Le scénariste du film nourrit l'ambition d'expliquer aux adeptes de dessins animés le fonctionnement de leur corps en suivant les aventures de ses héros. « Nous avons travaillé de concert avec une équipe de concepteurs pour dessiner les décors dans lesquels les héros évolueront. Pour être le plus réaliste possible, nos équipes de chercheurs ont formé les concepteurs afin de leur expliquer la fonction des organes et du système dans lesquels les personnages subiront des métamorphoses », a précisé le cinéaste. Toutefois, celui-ci a constaté que les concepteurs ont eu de la difficulté à assimiler un des concepts qui leur a été présenté, soit le péristaltisme.

Plusieurs équipes de deux chercheurs ont donc été mandatées pour concevoir un simulateur qui représente le péristaltisme du système digestif du corps humain. Leur défi étant de faire avancer une bille dans une petite enveloppe de bâton de jus congelé en respectant les contraintes suivantes :

- L'objet technique doit produire un mouvement similaire au péristaltisme sur l'enveloppe de bâton de jus congelé.
- Le mouvement créé doit faire avancer la bille dans le tube. Il est interdit de toucher le tube directement avec les doigts.
- Le déplacement de la bille doit se faire sans effort.

TÂCHE 1	Identifier toutes les composantes du système à l'aide de leurs fonctions.
TÂCHE 2	Décrire le mode de fonctionnement (transformations physiques) du système.
TÂCHE 3	Dessiner un croquis de votre appareil.
TÂCHE 4	Construire un appareil dont on vous fournit la gamme de fabrication et compléter le schéma de principe et de construction de celui-ci.
TÂCHE 5	Tâche complexe : Analyser les simulateurs de péristaltisme.

COURS	TÂCHE	ÉVALUATION
1	CERNEZ LE PROBLÈME TÂCHE 1 TÂCHE 2 DÉBUT TÂCHE 3	
2	FIN TÂCHE 3 TÂCHE 4	
3	FIN TÂCHE 4 TÂCHE 5	

Cernez le problème

Résumer la mise en situation :

Ce que vous devez faire en résumant les tâches dans **vos mots** :

C1 :
10

Tes connaissances sur les sujets de la SAÉ

Sujet : _____

C1 :
10

TÂCHE 1

Identifier toutes les composantes du système à l'aide de leurs fonctions.

Composantes (organes, glandes)	Fonctions
	Brasser des aliments avec les sécrétions gastriques. Déverser de petites quantités de nourriture dans l'intestin grêle.
	Émulsion des lipides et déverser des sécrétions dans l'intestin grêle.
	Digérer les protéines.
	Faire progresser les aliments de la bouche à l'œsophage.
	Éliminer des déchets solides après la réabsorption de l'eau.
	Conduire les aliments à l'estomac.
	Digérer les protéines, les glucides et les lipides.
	Mastiquer les aliments. Mélanger les aliments à la salive.
	Amorcer la digestion des lipides et digérer les protéines et les glucides.
	Absorber les nutriments.
	Amorcer la digestion de l'amidon contenu dans les aliments riches en glucides complexes.

C2 : 11

TÂCHE 2

Décrire le mode de fonctionnement (transformations physiques) du système.

Transformations physiques	Description du fonctionnement
Mastication	
Insalivation	
Déglutition	
Péristaltisme	
Brassage	
Segmentation	
Émulsion	

C2 : 7

TÂCHE 3

Dessiner un croquis de votre appareil.

Croquis :

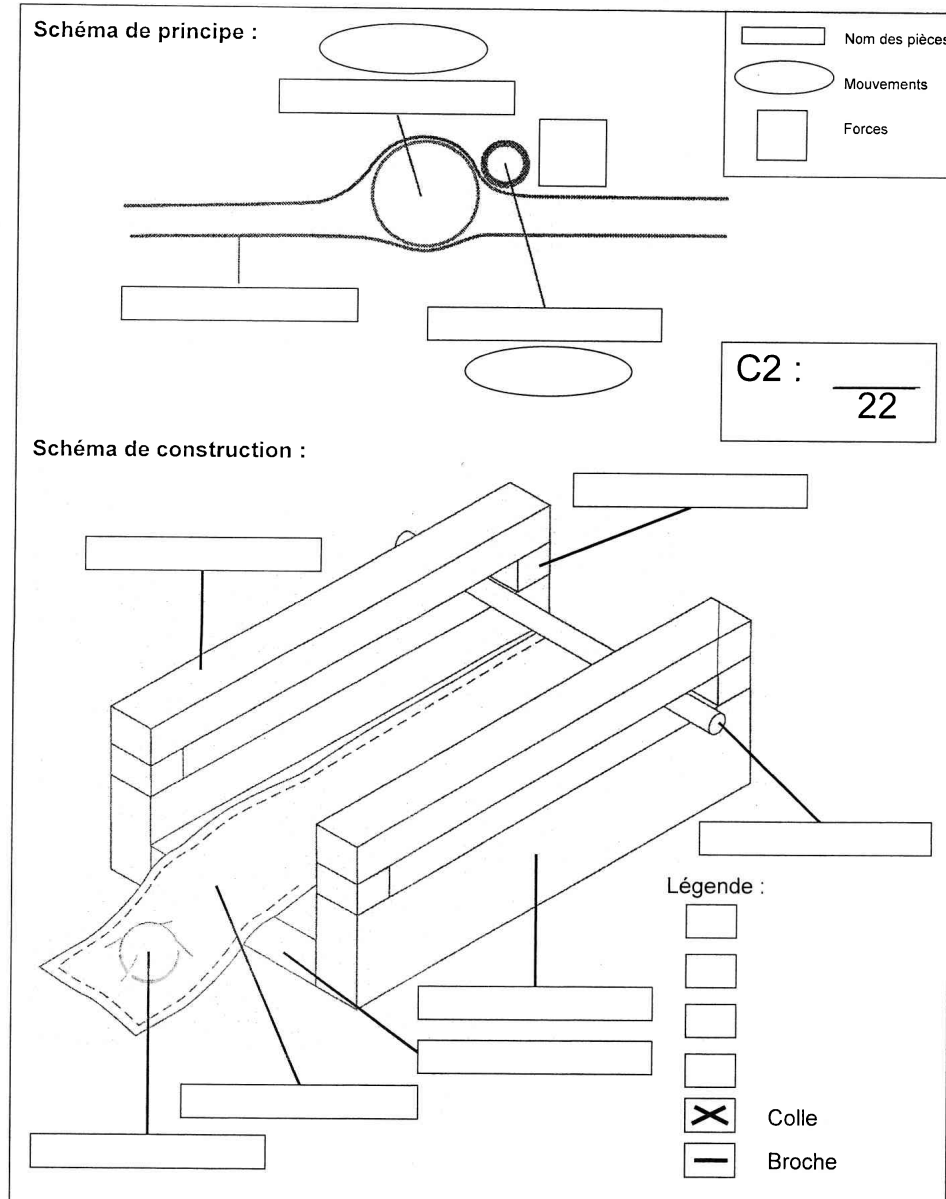
C3 : 10

Construction de l'appareil à péristaltisme :

C3 : 15

TÂCHE 4

Construire un appareil dont on vous fournit la gamme de fabrication et compléter le schéma de principe et de construction de celui-ci.



TÂCHE 5**Tâche complexe** : Analyser les simulateurs de péristaltisme.

1. Votre prototype respecte-t-il les contraintes mentionnées au début? Si non, quels ont été les manquements observés?

2. Le modèle construit qui vous a été proposé est-il un bon modèle qui représente correctement le péristaltisme? Nommez ses forces et ses faiblesses.

Forces

Faiblesses

-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----

3. Les liaisons entre les différentes pièces du simulateur que vous avez construit sont-elles des liaisons directes ou indirectes, rigides ou élastiques, démontables ou indémontables, complètes ou partielles?

Organes de liaison	Type de liaison
Colle	Directe ou indirecte
	Démontable ou indémontable
	Rigide ou élastique
	Complète ou partielle
Broche	Directe ou indirecte
	Démontable ou indémontable
	Rigide ou élastique
	Complète ou partielle

C3 : 15

**Appendice C : Documents de révision relatifs à la SAÉ sur le péristaltisme
distribués aux élèves lors de la séance d'observation – 2014-01-17 & 20 –
Quatrième secondaire**

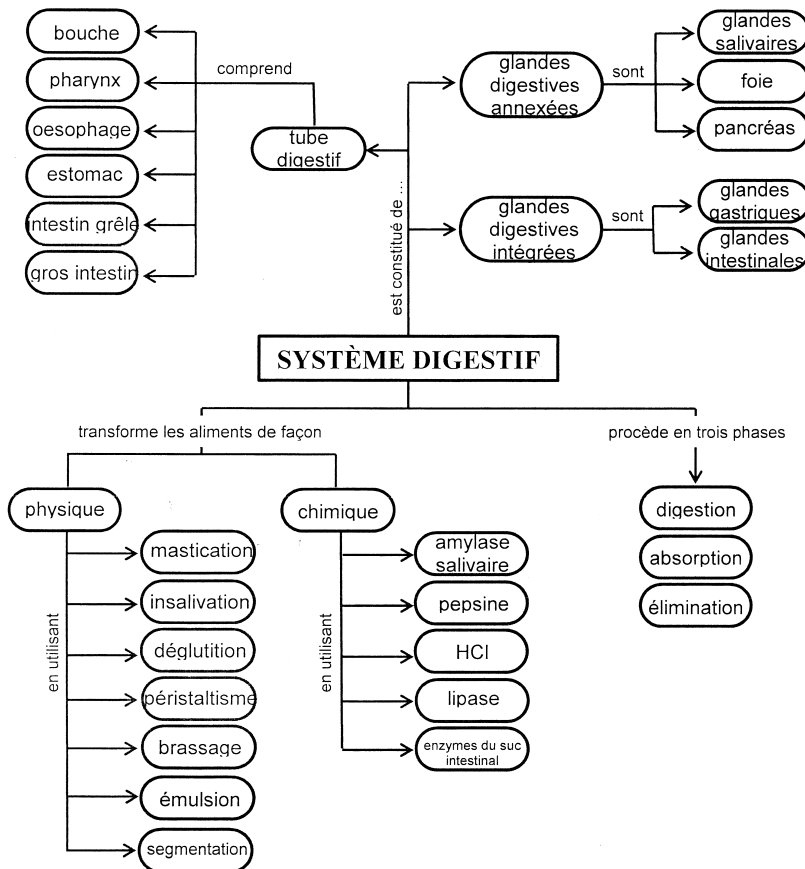
Nom : _____ corrigé _____

Groupe : _____

**Module 3 : Le système digestif
Exercices supplémentaires**



1. Compléter le tableau suivant en y inscrivant les termes appropriés.



bouche, tube digestif, glandes digestives annexées, foie, physique, mastication, enzymes de la salive (amylase salivaire), intestin grêle, digestion, glandes gastriques, déglutition, enzymes du suc intestinal, pancréas, estomac, glandes digestives intégrées, acides du suc gastrique (HCl), élimination, péristaltisme, pharynx, gros intestin, absorption, brassage, chimique, glandes salivaires, œsophage, émulsion, enzymes du suc pancréatique (lipase), insalivation, enzymes du suc gastrique (pepsine), glandes intestinales, segmentation

2. Indiquez l'étape de digestion à laquelle est associé chacun des organes (ou parties d'organe) énumérés ci-dessous.

CHOIX DE RÉPONSE : ingestion, digestion, absorption, élimination

a) Estomac	<u>digestion</u>
b) Jéjunum	<u>digestion</u>
c) Pharynx	<u>ingestion</u>
d) Anus	<u>élimination</u>
e) Pancréas	<u>digestion</u>
f) Lurette	<u>ingestion</u>
g) Côlon	<u>absorption</u>
h) Vésicule biliaire	<u>digestion</u>

3. Nommez les sécrétions produites par les glandes digestives énumérées ci-dessous.

a) Glandes salivaires	<u>salive</u>
b) Glandes gastriques	<u>suc gastrique</u>
c) Foie	<u>bile</u>
d) Pancréas	<u>suc pancréatique</u>
e) Glandes intestinales	<u>suc intestinal</u>

4. Les organes énumérés ci-dessous sécrètent des enzymes particulières, nommez ces enzymes.

a) Bouche	<u>amylase salivaire</u>
b) Estomac	<u>pepsine</u>
c) Pancréas	<u>lipase</u>

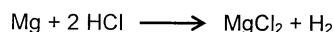
5. Que deviennent les substances nutritives suivantes après la digestion?

a) Glucides	<u>glucose</u>
b) Lipides	<u>acide gras et glycérol</u>
c) Protéines	<u>acide amidé</u>

6. Quelle est la différence entre une transformation mécanique et une transformation chimique?

Une transformation physique ne change pas la nature de la matière. Seul l'état (solide, liquide, gazeux) ou la forme de la substance peuvent être modifiés. Une transformation chimique change la composition chimique d'une substance entraînant une modification de ses propriétés caractéristiques. La matière perd ses propriétés initiales et en acquiert de nouvelles.

7. Certains symboles facilitent la compréhension d'une réaction chimique.



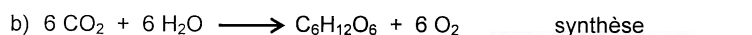
- a) Quel nom est donné aux termes de l'équation placés à gauche?

réactifs

- b) Quel nom est donné aux termes de l'équation placés à droite?

produits

8. Indiquez si ces réactions décrivent une réaction de synthèse (anabolisme) ou une réaction de décomposition (catabolisme).



9. Associez le type de dent à sa description.

a) Grosses dents rondes qui servent à écraser les aliments Prémolaires et molaires

b) Dents plates et tranchantes qui servent à couper. Incisives

c) Longues dents rondes et pointues servant à déchirer. Canines

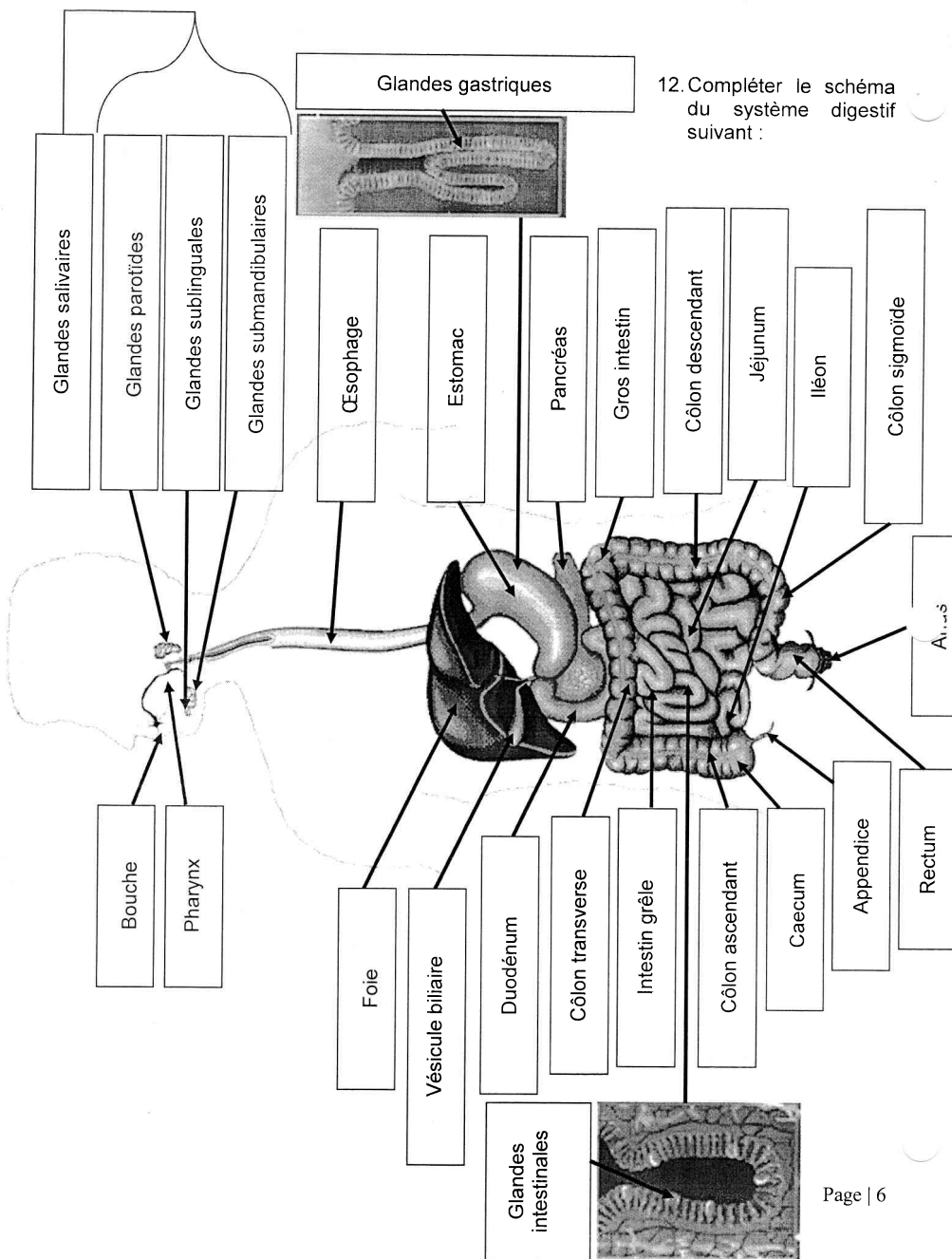
10. Quel est le rôle de la langue dans la mastication?

Elle permet de déplacer les aliments pour les placer sous les dents. Elle permet aussi de bien mélanger avec la salive.

11. Qui suis-je?

a) Je suis responsable de l'acheminement de la nourriture de la bouche à l'œsophage.	Déglutition (pharynx)
b) Mouvement involontaire qui a lieu dans l'œsophage.	Péristaltisme
c) Sphincter qui s'ouvre afin de laisser passer le bol alimentaire dans l'estomac.	Cardia
d) Nom de l'acide sécrété dans l'estomac.	Acide chlorhydrique (HCl)
e) Nom du suc sécrété dans l'intestin grêle.	Suc intestinal
f) Sphincter qui s'ouvre afin de laisser passer le chyme dans l'intestin grêle.	Pylore
g) Première partie de l'intestin grêle.	Duodénum
h) Deuxième partie de l'intestin grêle.	Jéjunum
i) Troisième partie de l'intestin grêle.	Iléon
j) Carrefour du système digestif et respiratoire.	Pharynx
k) L'amylase salivaire s'attaque à ce sucre.	Amidon
l) Nom donné aux replis formés par la muqueuse de l'intestin grêle.	Microvillosités
m) Organe du tube digestif qui suit l'intestin grêle.	Gros intestin
n) Principal nutriment récupéré dans le gros intestin.	Eau

o) Vitamines formées dans le gros intestin.	Vitamine k
p) Nom du sphincter fermant le gros intestin.	Anus
q) Réservoir où est conservé la bile.	Vésicule biliaire
r) Substance essentiel au maintien du taux de sucre dans le sang et qui est produite par le pancréas.	Insuline
s) Action d'imbiber de salive.	Insalivation
t) Substance protégeant la paroi interne de l'estomac contre l'acidité des sucs gastriques.	Mucus
u) Substance chimique présente dans les liquides sécrétés par les glandes digestives et qui accélère les réactions de transformations au cours de la digestion des aliments.	Enzyme
v) Glandes salivaires situées près des oreilles.	Parotides
w) Action de briser les aliments en petites particules.	Mastication
x) Organe le plus volumineux du corps produisant la bile.	Foie
y) Action de séparer les lipides en fines gouttelettes.	Émulsion
z) Résultat de l'attaque du sucre sur les dents.	Carie



Appendice D : Documents relatifs à l'activité de laboratoire sur les pluies acides distribués aux élèves lors de la séance d'observation sur les pluies acides – 2014-01-31 – Quatrième secondaire

Nom : _____ Groupe : _____ Date : _____

Laboratoires scientifiques

LABO 60

La pollution atmosphérique

PROGRAMMES : STE, SE
TYPE DE LABO : Observation
CONCEPT : Contamination (atmosphère)
MANUEL : Chapitre 7, page 235
BOÎTE À OUTILS : Page 20

BUT DU LABORATOIRE

Observer expérimentalement l'effet du dioxyde de soufre sur le pH de l'eau.

CRITÈRES D'OBSERVATION

1. Explique le comportement de la solution d'indicateur tournesol.

2. À quel pH considère-t-on que les pluies sont acides ? 5,3 au QC.

3. Quels principaux polluants atmosphériques causent les pluies acides ? Qu'est-ce qui les produit ?

4. De quelle façon une combustion de substances acidifie-t-elle l'eau ?

5. La pluie « neutre » a un pH de 6. Comment expliquer ce phénomène ?

MATÉRIEL

- Un contenant de sulfure métallique (ZnS ou PbS)
- Une éprouvette de 25 mm × 150 mm
- Un support universel
- Deux pinces universelle non-plastifiées
- Un bouchon n° 4 à deux trous muni de 2 tubes de verre
- Un bécher de 250 ml
- Indicateur tournesol
- Deux languettes de papier pH
- Un tube en latex de 60 cm
- Un tube en latex de 15 cm
- Une seringue 140 cc
- Des allumettes
- Un brûleur Bunsen

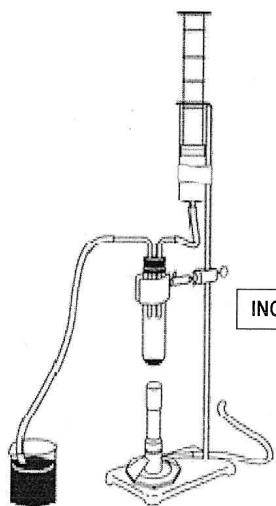
Nom : _____ Groupe : _____ Date : _____

MANIPULATIONS



1. Verser environ **1 g de sulfure de plomb (PbS)** ou de sulfure de zinc (ZnS) dans l'éprouvette.
2. Fixer l'éprouvette au support universel à l'aide d'une **pince non-plastifiée**.
3. Boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon à deux trous.
4. Verser environ 150 ml d'eau dans le bécher. Ajouter **3 compte-gouttes plein d'indicateur tournesol afin d'obtenir une coloration foncée**. Noter la couleur du liquide.
5. Déterminer le pH de l'eau à l'aide d'une languette de papier. Noter le résultat.
6. Remplir la seringue à 140 cc (ml) d'air et la fixer au tube de caoutchouc.
7. Attacher la seringue à la tige du support universel à l'aide d'une pince.
8. Plonger l'extrémité de l'autre tube de caoutchouc dans l'eau du bécher.
9. Allumer le brûleur Bunsen et le placer de façon à ce que la flamme chauffe la base de l'éprouvette.
10. **Après 2 minutes de chauffage**, appuyer **lentement** sur le piston de la seringue, afin de pousser le gaz contenu dans l'éprouvette vers l'eau du bécher (il devrait y avoir un débit de 2 à 3 bulles par seconde).
11. **Quand le piston aura atteint l'extrémité de la seringue retirer le tube de l'eau**.
12. Éteindre le brûleur. Noter la couleur de l'eau.
13. Déterminer le pH final à l'aide d'une nouvelle languette de papier.
14. **Jeter le contenu de l'éprouvette dans le bécher de récupération.**

SCHEMA DU MONTAGE



FAIRE APPROUVER LE MONTAGE

INCLINER L'ÉPROUVETTE

Nom: _____ Groupe: _____ Date: _____

4. Ce tableau illustre le lien entre diverses sources de gaz à effet de serre (GES) et les activités humaines. Complétez-le.

Gaz à effet de serre (GES)	Sources de GES
Dioxyde de carbone (CO_2)	<ul style="list-style-type: none"> Feux de forêt + Respiration cellulaire Eruption volcanique Combustion fossile
Méthane (CH_4)	<ul style="list-style-type: none"> Combustion des gaz naturels Digestions des animaux d'élevage (vache)
Oxyde nitreux (N_2O)	<ul style="list-style-type: none"> Épandage d'engrais Procédé chimique

5. a) Outre les gaz à effet de serre, plusieurs substances peuvent modifier la composition de l'atmosphère. Ce tableau illustre le lien entre diverses sources de contaminants atmosphériques et les activités humaines. Complétez-le.

Contaminants atmosphériques	Sources de contamination atmosphérique
Dioxyde de soufre (SO_2) et oxydes d'azote (NO_x)	<ul style="list-style-type: none"> Procédé industriels Utilisation de combustibles fossiles
Métaux toxiques	<ul style="list-style-type: none"> Combustion du charbon et du pétrole Incinération des déchets, production d'énergie
CFC	<ul style="list-style-type: none"> Bombes aérosol Systèmes de réfrigération
Poussières et particules en suspension	<ul style="list-style-type: none"> Cheminsées d'usines Échappement de véhicules automobile


b) Parmi les contaminants présentés en a), lesquels contribuent à la formation des pluies acides et du smog?

Pluies acides: SO_2 , NO_x ,
 Smog: SO_2 , NO_x , Particules en suspension

Décrivez brièvement le processus de formation du smog.

L'ozone troposphérique se combine avec le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre pour former le smog.

Appendice E : Documents relatifs à l'activité de laboratoire sur les coacervats distribués aux élèves lors de la séance d'observation du 2014-01-31 sur « Les origines de la vie – les coacervats » – Cinquième secondaire.



LABO 8
 Sciences générales

Chapitre 5 : Les origines de la vie

Les coacervats

BUTS :

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL :
 Réf : volume p. 110 à 112

MATÉRIEL :

• Solution de gélatine	• Solution de gomme arabique
• Acide chlorhydrique (HCl) 0,1 M	• Bleu de méthylène
• Éprouvette	• Cylindre gradué de 10 ml
• Compte-goutte	• Microscope
• Lame	• Lamelle

MANIPULATIONS :

1. Mélanger 10 ml de solution de gélatine avec 5 ml de solution de gomme arabique dans une éprouvette. *+ gte bleu de méth.*
2. Placer sur une lame une goutte du mélange. Recouvrir d'une lamelle.
3. Observer au 400X et dessiner ce que vous y voyez.
4. Ajouter 10 gouttes de HCl dans l'éprouvette.
5. Laisser reposer quelques minutes jusqu'à ce que le mélange devienne trouble.
6. Placer sur une lame une goutte du mélange.
7. Ajouter une goutte de bleu de méthylène.
8. Recouvrir d'une lamelle et observer au microscope à 400X.

➤ La gélatine est une protéine;
 ➤ La gomme arabique est un sucre (polysaccharide);
 ➤ Le milieu est acide à cause de l'ajout de HCl.

27

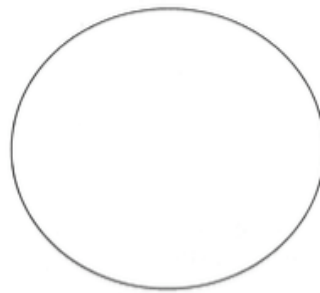
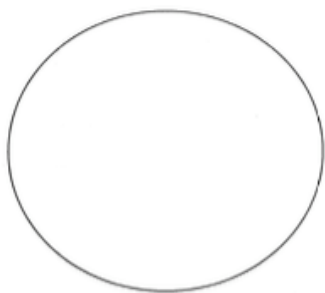
RÉSULTATS :

Titre : _____

Titre : _____

Grossissement : _____

Grossissement : _____

**ANALYSE DES RÉSULTATS**

CONCLUSION :

Pour alimenter votre conclusion, inspirez-vous des interrogations suivantes :

- Que prouve cette expérience sur le comportement de certaines molécules?
- Avez-vous prouvé qu'il est possible de fabriquer des cellules en laboratoire?

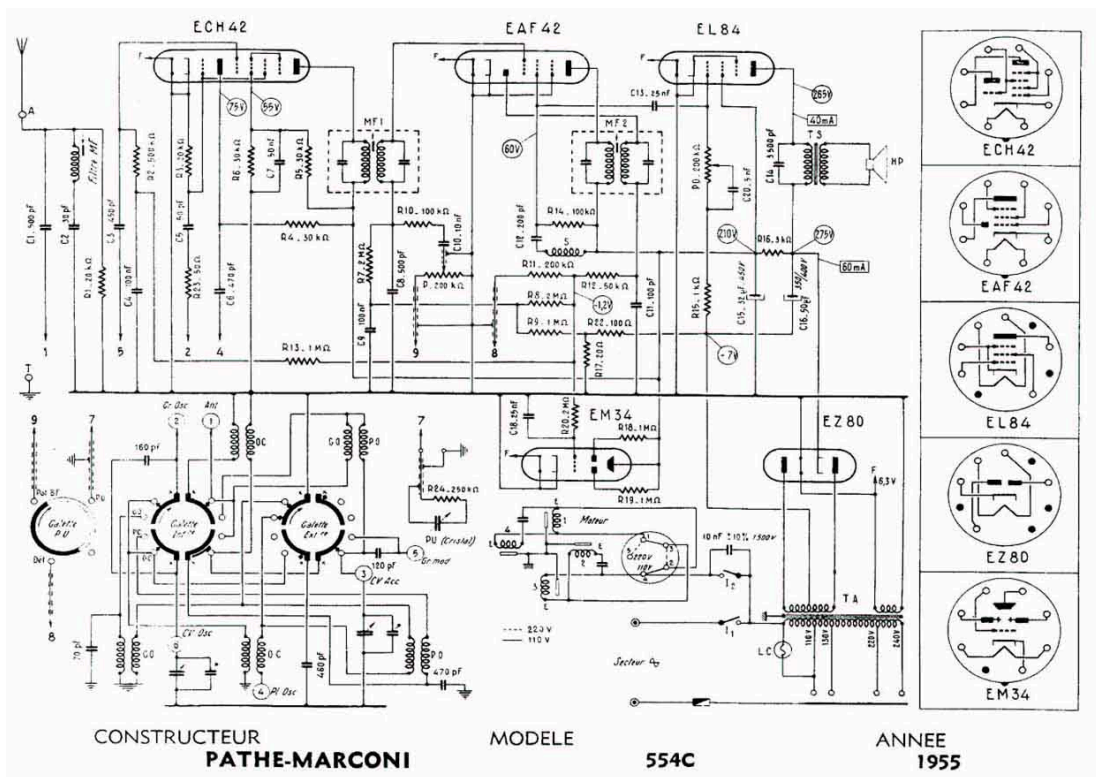
Questions :

1. Dans votre mélange, vous aviez des protéines et un saccharide (sucre), la gomme arabique. Les coacervats résultent d'une certaine organisation de ces molécules. Illustrez à l'aide de schémas dans une équation de type $A + B \rightarrow C$, comment se forment les coacervats.
A représente les molécules de bases (qui ont réagi ensemble);
B représente les conditions;
C représente le résultat obtenu.



2. Quelle a été l'importance du pH dans cette expérience?

Appendice F : Document technique sur un poste radio Marconi



Appendice G : Documents relatifs à l'atelier sur les circuits électriques distribués aux élèves lors de la séance d'observation du 2014-03-14 – Quatrième secondaire

Nom : _____ Gr. : _____

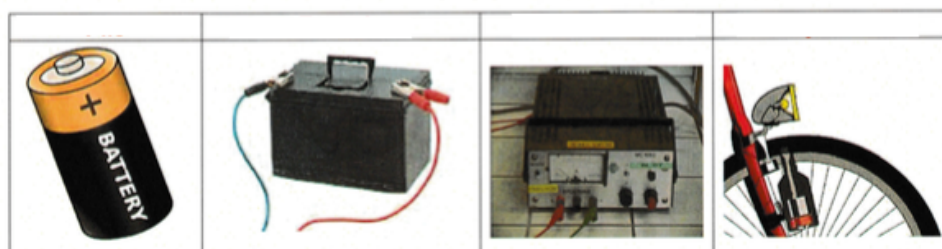
LES CIRCUITS ÉLECTRIQUES

Activité 1 : Courant continu ou courant alternatif

Le courant électrique peut être continu ou alternatif. Tout dépend de la façon dont les électrons circulent dans le circuit.

Courant continu	Courant alternatif

Les sources de courant continu :



Les sources de courant alternatif :



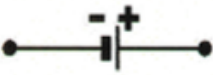







Activité 2 : Fabrication d'un circuit électrique

Défi : Vous devez fabriquer un circuit électrique permettant de faire allumer une ampoule.

Dessin de votre circuit



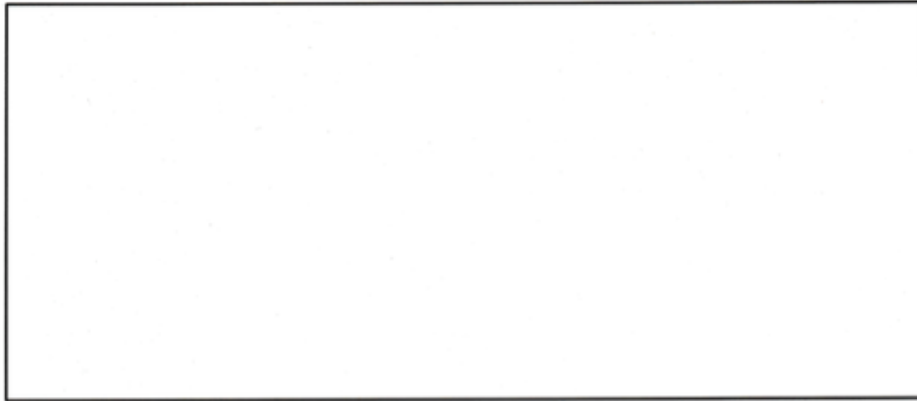
Les 3 composantes de base d'un circuit

Composantes	Exemples et symboles	
	Courant continu (pile) 	Courant alternatif (prise de courant) 
	1 fil simple 	2 fils croisés (nœud) 
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> Ampoule   </div> <div style="text-align: center;"> Résistance  </div> <div style="text-align: center;"> Moteur  </div> </div>	

Activité 3 : Schéma d'un circuit électrique

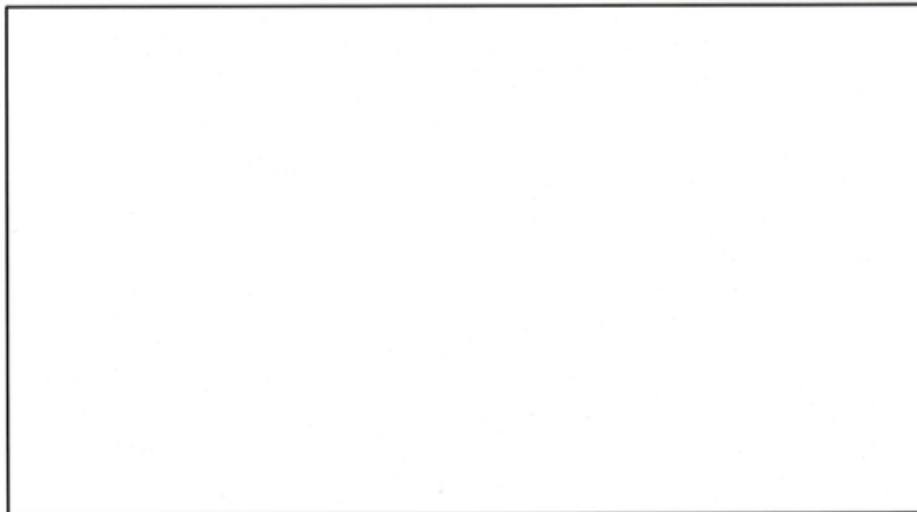
Défi : Vous devez dessiner votre circuit électrique en utilisant les différents symboles.

Schéma de votre circuit

**Activité 4 : Les interrupteurs**

Défi : Vous devez ajouter un interrupteur dans votre circuit électrique et dessiner le schéma.

Schéma de votre circuit avec interrupteur



Activité 5 : Circuit en série et circuit en parallèle

Défi : Vous devez fabriquer un circuit électrique permettant de faire allumer 2 ampoules.

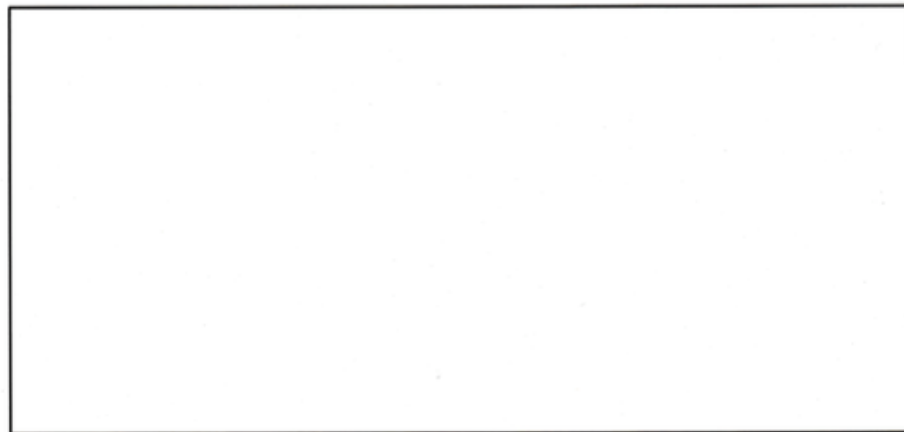
Schéma de votre circuit électrique



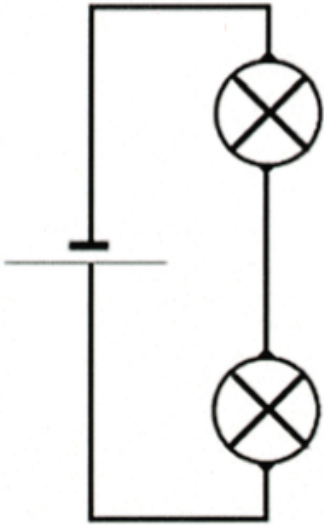
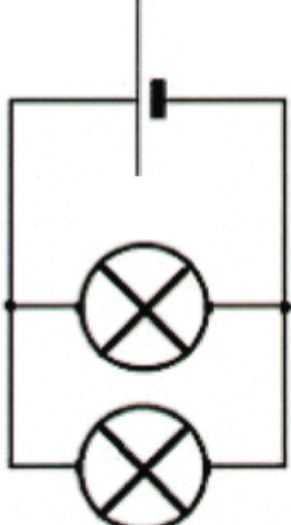
Si vous déconnectez une des ampoules, que se passe-t-il ? _____

Défi : Vous devez modifier votre circuit électrique de 2 ampoules afin de vous permettre de faire allumer une ampoule même si on débranche l'autre ampoule.

Schéma de votre circuit électrique



Il existe 2 types de circuits.

Circuit en	Circuit en
<ul style="list-style-type: none"> • Un seul chemin possible pour les • Si une des ampoules est défectueuse, toutes les ampoules s'éteignent car le courant électrique ne peut pas 	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs chemins possibles pour les ampoules. • Si une des ampoules est défectueuse, les autres ampoules restent allumées car le courant électrique peut passer par d'autres
<p style="text-align: center;">Schéma</p> 	<p style="text-align: center;">Schéma</p> 

Question : Dans nos maisons, les différentes pièces contiennent souvent plusieurs ampoules pour l'éclairage ainsi que plusieurs prises électriques permettant de brancher des appareils électriques. Selon toi, quel type de circuit électrique est utilisé ?

Justifiez votre réponse :

Activité 6 : Les symboles en électricité

Voici une liste de différents symboles utilisés en électricité. Vous devez les identifier.
(Manuel Synergie p.187)

Nom	Symbole	Nom	Symbole
Source de courant continu (pile)		Fil conducteur	
Source de courant continu (batterie)		Noeud	
Source de courant alternatif (prise de courant)		Interrupteur ouvert	
Génératrice à courant alternatif		Interrupteur fermé	
Fusible ou Disjoncteur		Ampoule	
Ampèremètre		Diode électroluminescente (DEL)	
Voltmètre		Résistance	
Haut-parleur		Moteur	

Activité 7 : Exercices sur les circuits électriques

Vous devez fabriquer et dessiner différents circuits électriques en respectant les exigences.

Circuit A

<ul style="list-style-type: none"> • Circuit en série • 1 interrupteur • 2 ampoules • 1 résistance 	
--	--

Circuit B

<ul style="list-style-type: none"> • Circuit en parallèle • 1 interrupteur • 1 ampoule • 2 résistances 	
--	--

Circuit C

<ul style="list-style-type: none"> • Circuit mixte • 3 ampoules en parallèle • 1 interrupteur permettant d'éteindre seulement une des ampoules 	
--	--

Appendice H – Certification éthique

UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi

Comité d'éthique de la recherche
avec des êtres humains

APPROBATION ÉTHIQUE

Dans le cadre de l'*Énoncé de politique des trois conseils : éthique de la recherche avec des êtres humains* 2 et conformément au mandat qui lui a été confié par la résolution CAD-7163 du Conseil d'administration de l'Université du Québec à Chicoutimi, approuvant la *Politique d'éthique de la recherche avec des êtres humains* de l'UQAC, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Chicoutimi, à l'unanimité, délivre la présente approbation éthique puisque le projet de recherche mentionné ci-dessous rencontre les exigences en matière éthique et remplit les conditions d'approbation dudit Comité.

Responsable(s) du projet de recherche : *Madame Emmanuelle Arousseau*
Étudiante, Doctorat en éducation, UQAC

Direction de recherche : *Madame Christine Couture, directrice de recherche, DSE, UQAC*
Monsieur Ghislain Samson, codirection de recherche, DSE, UQTR

Projet de recherche intitulé : *Étude exploratoire relative à la modélisation en science et technologie avec des enseignants du 2^e cycle du secondaire – Analyse d'ajustements de pratique.*

No référence : 602.355.01

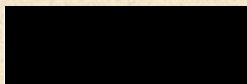
La présente est valide jusqu'au 30 novembre 2013.

Rapport de statut attendu pour le 1^{er} novembre 2013.

<http://www.uqac.ca/recherche/cer/prolongation.php>

Date d'émission initiale de l'approbation : 23 novembre 2012

Date(s) de renouvellement de l'approbation :



François Guérard, Ph.D., président

Appendice I – Présentation du projet aux enseignants

Titre de la recherche :

Étude exploratoire relative à la modélisation en science et technologie avec des enseignants du 2^{ème} cycle du secondaire – Analyse d’ajustements de pratique

Résumé de la recherche :

Ce travail de recherche est motivé par une préoccupation relative à l’enseignement et à l’apprentissage de la modélisation. Cette démarche est inscrite dans le PFEQ, parmi sept autres démarches à développer en enseignement de sciences et de technologies. Elle fait de plus partie intégrante de nombreuses activités humaines et bien évidemment de l’activité scientifique.

Son enseignement et son apprentissage semblent améliorer pour les élèves la compréhension de notions abstraites. Cette démarche permet aussi de donner une bonne vision de l’activité scientifique en général. Enfin, elle se révèle être une aide essentielle, dans l’enseignement de sciences et technologies, pour articuler le concret et l’abstrait, alors que cette articulation reste une difficulté majeure dans cet enseignement et cet apprentissage jugés difficiles par de nombreux jeunes.

Notre ambition est donc d’observer des pratiques d’enseignement relatives à la modélisation et de discuter avec des enseignants : 1) Comment entrevoient-ils la démarche de modélisation et la notion de modèle? 2) Comment utilisent-ils déjà la démarche de modélisation et les modèles dans leur pratique d’enseignement? 3) Comment envisagent-ils l’utilisation des modèles et de la démarche de modélisation, notamment pour concilier le concret et l’abstrait? 4) Quel intérêt voient-ils à utiliser la démarche de modélisation?

Une collaboration avec des enseignants du secondaire est donc essentielle dans le but d'identifier les stratégies qu'ils mettent en œuvre afin de réaliser la difficile conciliation du concret et de l'abstrait en enseignement de sciences et de technologies, et afin de faire émerger les possibilités quant à l'enseignement de la démarche de modélisation. Cette recherche collaborative a pour ambition de se situer à la confluence des préoccupations du chercheur et des intérêts des enseignants. La volonté est donc de travailler non pas *sur* des enseignants, mais bien *avec* eux afin de bénéficier de leur expertise.

Nous vous convions donc à une rencontre d'information qui aura lieu le 29 janvier 2014 à l'école Dominique-Racine.

Cordialement,

Emmanuelle Aourousseau

Appendice J – Lettre de consentement pour les enseignants

Emmanuelle Arousseau
Tel 418 xxx xxxx

Université du Québec à Chicoutimi
courriel Emmanuelle_Arousseau@uqac.ca

Je, soussigné(e) _____ suis intéressé(e) à collaborer à cette étude exploratoire sur l'enseignement de la modélisation en sciences et technologies réalisée par Emmanuelle Arousseau, étudiante au doctorat en éducation à l'Université du Québec à Chicoutimi, et dirigée par madame Christine Couture, directrice du doctorat et professeure en éducation à l'Université du Québec à Chicoutimi, et monsieur Ghislain Samson, professeur en éducation à l'Université du Québec à Trois-Rivières. L'objectif de cette étude est d'acquérir une meilleure compréhension des stratégies enseignantes mettant en œuvre les modèles et la démarche de modélisation.

Si je participe à cette étude, j'assisterai à un total de 3 rencontres de groupe, d'une demi-journée, pendant lesquelles les participants échangeront leur point de vue et leurs expériences sur la démarche de modélisation et coconstruiront une séance basée sur l'enseignement de cette démarche. Ces rencontres sont prévues au cours des mois de décembre, mars et juin lors de journées pédagogiques. Deux séances d'observation en classe sont également prévues, l'une au cours des mois de janvier-février, l'autre entre le mois de mars et la fin du mois de mai. Je serai invité(e) à écrire, à la maison ou lors des rencontres, à ma convenance, quelques lignes dans un journal de bord qui sera en quelque sorte la mémoire vive de la recherche.

Je consens à ce que les séances soient l'objet d'un enregistrement audio. Ces enregistrements seront conservés sous clé dans le laboratoire du chercheur ou de la chercheuse et ne seront accessibles qu'aux personnes participant à la

recherche. Ils seront détruits à la fin des travaux. Aucune information personnelle ne sera divulguée. Toutes les données seront soigneusement anonymisées.

Ma participation à cette étude est strictement volontaire et je peux me retirer au moment où je le désire sans encourir de pénalisation sous quelque forme que ce soit. Bien qu'il soit préférable que je réponde à toutes les questions, si l'une d'elles me laisse mal à l'aise, je peux refuser de répondre.

J'ai reçu des chercheurs l'assurance que les informations données resteront strictement confidentielles. Pour ma part, je donne à tous les membres du groupe l'assurance que je considérerai comme confidentielles toutes les informations communiquées par eux lors des séances. **Ce formulaire de consentement a été émis en deux exemplaires dont l'un est remis aux personnes effectuant la recherche et l'autre reste en ma possession.**

Si vous avez des questions concernant votre implication dans ce projet de recherche, vous pouvez me contacter soit par courriel (Emmanuelle_Aurousseau@uqac.ca) ou par téléphone au 418 xxx xxxx.

En cas de non-respect des engagements cités précédemment ou pour obtenir des renseignements supplémentaires, vous pouvez contacter le comité de direction de cette recherche, soit :

Madame Christine Couture, professeure, directrice du doctorat en éducation – Département des sciences de l'éducation de l'Université du Québec à Chicoutimi, au 418 545-5011 poste xxxx.

Monsieur Ghislain Samson, professeur au Département des sciences de l'éducation de l'Université du Québec à Trois-Rivières au 819 376-5011 poste 3625.

Signature de la personne participante	Date
---------------------------------------	------

Signature du chercheur ou de la chercheuse	Date
--	------

Je désire recevoir un résumé des résultats de cette étude, qui sera prêt à l'hiver 2016,
à l'adresse suivante : _____.

MERCI DE VOTRE COLLABORATION.

Appendice K : Lettre de remerciements



Projet relatif à la modélisation avec des enseignants du secondaire,

Bonjour,

Je profite de ce courrier pour vous remercier de votre collaboration lors de ce projet relatif à la modélisation qui nous a réunis de l'automne 2013 au printemps 2014.

Comme nous l'avions envisagé, il serait de mise que je vous présente le travail que nous avons effectué ensemble lors de ces quelques rencontres où vous avez eu la générosité de partager vos pratiques autour des modèles et de la modélisation.

Je serais donc disponible pour vous présenter les premiers résultats de ce projet le 15 mai, puisque vous disposez, me semble-t-il, d'une journée pédagogique où vous pourriez, peut-être, m'accorder une heure de votre temps. Il serait aussi possible de convier vos collègues à cette présentation de 30 minutes environ qui pourrait avoir lieu à l'école Lafontaine, que nous pourrions poursuivre par un échange d'une trentaine de minutes, ou plus si le cœur vous en dit.

Je reste à votre disposition pour de plus amples renseignements.

Dans l'attente de votre réponse, je vous souhaite une belle fin de semaine,

Cordialement

Emmanuelle Aourousseau

*Étudiante au doctorat en éducation et membre du CRIFPE
Chargée de cours - Assistante de recherche
418 592-7723
emmanuelle.aourousseau@uqac.ca*